

Nr. 35

Mitteilungen

Die Niedrigwassersequenz
der Jahre 2015 bis 2018 in Deutschland –
Analyse, Einordnung und Auswirkungen

Anlage 2

Zusätzliche Auswertungen und Erläuterungen zur Extremwertstatistik

Koblenz, Dezember 2021

Herausgeber:

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

Postfach 20 02 53

Tel.: +49 (0)261 1306-0

Fax: +49 (0)261 1306 5302

E-Mail: posteingang@bafg.de

Internet: <http://www.bafg.de>

Die Anlage 2 „Zusätzliche Auswertungen und Erläuterungen zur Extremwertstatistik“ bezieht sich im Wesentlichen auf das Kapitel 3 „Extremwertstatistik“ der Mitteilung Nr. 35.

DOI: 10.5675/BfG_Mitteilungen_35.2021_Anل. 2

URL: https://doi.bafg.de/BfG/2020/BfG_Mitteilungen_35.2021_Anل. 2.pdf

Zitiervorschlag:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2021): Die Niedrigwassersequenz der Jahre 2015 bis 2018 in Deutschland – Analyse, Einordnung und Auswirkungen. Mitteilungen Nr. 35, Anlage 2: Zusätzliche Auswertungen und Erläuterungen zur Extremwertstatistik. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 65 S., nur digital, DOI: 10.5675/BfG_Mitteilungen_35.2021_Anل. 2

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis A2	4
Tabellenverzeichnis A2	8
A2-1 Homogenisierung der Niedrigwasserabflüsse der Pegel Dresden und Neu Darchau in den Wasserhaushaltsjahren 1961/1964 (Bezug: Kapitel 3.2)	9
A2-2 Analysen zu den Voraussetzungen der Extremwertstatistik an ausgewählten Flusspegeln (Bezug: Kapitel 3.3)	12
Anmerkungen zu den Pegeln Dresden und Neu Darchau	22
Ergebnisansprache der Trendanalysen für die Serien NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 pro Pegel	33
A2-3 Anpassung und Diagnose theoretischer Verteilungsfunktionen an die Serien 1961/2018 von Niedrigwasserkenngößen an ausgewählten Flusspegeln (Bezug: Kapitel 3.4)	35
Pegelweise diagnostische Ansprache der ausgewählten und angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen	44
A2-4 Einordnung der Niedrigwasserkenngößen der Wasserhaushaltsjahre 2015 bis 2018 an ausgewählten Flusspegeln bzgl. ihrer Auftretenswahrscheinlichkeiten (Bezug: Kapitel 3.4)	48
Pegelbezogene Ansprache der Zuordnungen der Niedrigwasserkenngößen 2015/2018 zu den Quantilsklassen bzw. zu entsprechenden Wiederkehr- intervallen	62

Abbildungsverzeichnis A2

Abbildung A2-1: Tägliche Abflussganglinien Q des Pegels Dresden für die Wasserhaushaltsjahre 1962 bis 1964, siebentägig gemittelte Abflüsse M7Q sowie für den heutigen Zustand abgeleitete <i>master recession curves</i> (MRC).	11
Abbildung A2-2: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die NM7Q-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Pegeln Hohensaaten-Finow/Oder und Intschede/Weser.	13
Abbildung A2-3: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die NM7Q-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Elbepegeln Dresden und Neu Darchau.	14
Abbildung A2-4: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die NM7Q-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Rheinpegeln Maxau, Kaub, Köln und dem Pegel Hofkirchen/Donau.....	15
Abbildung A2-5: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumD(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Pegeln Hohensaaten-Finow/Oder und Intschede/Weser.	16
Abbildung A2-6: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumD(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Elbepegeln Dresden und Neu Darchau.....	17
Abbildung A2-7: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumD(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Rheinpegeln Maxau, Kaub, Köln und am Pegel Hofkirchen/Donau.	18
Abbildung A2-8: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumV(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Pegeln Hohensaaten-Finow/Oder und Intschede/Weser.	19
Abbildung A2-9: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumV(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Elbepegeln Dresden und Neu Darchau.....	20
Abbildung A2-10: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumV(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Rheinpegeln Maxau, Kaub, Köln und am Pegel Hofkirchen/Donau.	21

Abbildung A2-11: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Hohensaaten-Finow (Oder) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.....	23
Abbildung A2-12: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Intschede (Weser) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.....	24
Abbildung A2-13: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Dresden (Elbe) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961 (1961/1964 originale Werte). Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.	25
Abbildung A2-14: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Dresden (Elbe) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961 (1961/1964 homogenisiert). Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.....	26
Abbildung A2-15: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Neu Darchau (Elbe) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961 (1961/1964 originale Werte). Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.....	27
Abbildung A2-16: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Neu Darchau (Elbe) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961 (1961/1964 homogenisiert). Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.....	28
Abbildung A2-17: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Maxau (Rhein) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.	29
Abbildung A2-18: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Kaub (Rhein) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.	30
Abbildung A2-19: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Köln (Rhein) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.	31

Abbildung A2-20: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Hofkirchen (Donau) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren.	32
Abbildung A2-21: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Hohensaaten-Finow/Oder mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI.....	36
Abbildung A2-22: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Intschede/Weser mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI.....	37
Abbildung A2-23: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Dresden/Elbe mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien und angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI.....	38
Abbildung A2-24: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Neu Darchau/Elbe mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien und angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI.....	39
Abbildung A2-25: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Maxau/Rhein mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI.	40
Abbildung A2-26: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) von 1961/2018 am Pegel Kaub/Rhein mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI.....	41
Abbildung A2-27: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Köln/Rhein mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI.....	42

Abbildung A2-28: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) von 1961/2018 am Pegel Hofkirchen/Donau mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI.....	43
Abbildung A2-29: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Oderpegel Hohensaaten-Finow im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018.....	52
Abbildung A2-30: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Weserpegel Intschede im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018.....	53
Abbildung A2-31: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Elbepegel Dresden im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018 (bei vorgenommener Homogenisierung in den Jahren 1961/1964).....	54
Abbildung A2-32: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Elbepegel Dresden im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018 (ohne Homogenisierung in den Jahren 1961/1964).....	55
Abbildung A2-33: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Elbepegel Neu Darchau im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018 (bei vorgenommener Homogenisierung in den Jahren 1961/1964).	56
Abbildung A2-34: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Elbepegel Neu Darchau im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018 (ohne Homogenisierung in den Jahren 1961/1964).....	57
Abbildung A2-35: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Rheinpegel Maxau im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018.	58
Abbildung A2-36: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Rheinpegel Maxau im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018.	59
Abbildung A2-37: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Rheinpegel Köln im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018.....	60
Abbildung A2-38: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Donaupegel Hofkirchen im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018.....	61

Tabellenverzeichnis A2

Tabelle A2.1: Zusammenstellung der für die analysierten Pegel und Kenngrößen NM7Q angepassten Verteilungsfunktionen sowie der damit ermittelten Quantile (mit Wiederkehrintervall von T Jahren) und Grenzen ihrer Konfidenzintervalle KI mit Vertrauenswahrscheinlichkeit 0,9. Zum Vergleich werden die in den Wasserhaushaltsjahren 2015/2018 aufgetretenen Kenngrößen aufgelistet. Die Angaben für Dresden und Neu Darchau beziehen sich auf Varianten mit (ohne) Homogenisierung für die Jahre 1961/1964.	49
Tabelle A2.2: Zusammenstellung der für die analysierten Pegel und Kenngrößen SumD(<MNQ) angepassten Verteilungsfunktionen sowie der damit ermittelten Quantile (mit Wiederkehrintervall von T Jahren) und Grenzen ihrer Konfidenzintervalle KI mit Vertrauenswahrscheinlichkeit 0,9. Zum Vergleich werden die in den Wasserhaushaltsjahren 2015/2018 aufgetretenen Kenngrößen aufgelistet. Die Angaben für Dresden und Neu Darchau beziehen sich auf Varianten mit (ohne) Homogenisierung für die Jahre 1961/1964.	50
Tabelle A2.3: Zusammenstellung der für die analysierten Pegel und Niedrigwasserkenngrößen SumV(<MNQ) angepassten Verteilungsfunktionen sowie der damit ermittelten Quantile (mit Wiederkehrintervall von T Jahren) und Grenzen ihrer Konfidenzintervalle KI mit Vertrauenswahrscheinlichkeit von 0,9. Zum Vergleich werden die in den Wasserhaushaltsjahren 2015/2018 aufgetretenen Kenngrößen aufgelistet. Die Angaben für Dresden und Neu Darchau beziehen sich auf Varianten mit (ohne) Homogenisierung für die Jahre 1961/1964.	51

A2-1 Homogenisierung der Niedrigwasserabflüsse der Pegel Dresden und Neu Darchau in den Wasserhaushaltsjahren 1961/1964 (Bezug: Kapitel 3.2)

Die Verwendung von Abflusszeitreihen für die Erstellung von Niedrigwasserstatistiken setzt u. a. voraus, dass diese nicht über die Zeit signifikant unterschiedlichen (v. a. anthropogenen) Einflüssen im betreffenden Gewässer oder Einzugsgebiet unterlagen (Homogenität). In der hier vorliegenden Anlage 2 wird daher in Bezug auf Kapitel 3.2 eine Homogenisierung der Niedrigwasserabflüsse der Abflussreihen an den Elbepegeln Dresden und Neu Darchau in den Wasserhaushaltsjahren 1961/1964 vorgenommen, in denen die größte Talsperre der Moldaukaskade, die Orlik-Talsperre, in Betrieb genommen wurde. Die Homogenisierung bezieht sich auf die heutige Wirkung der Talsperren im tschechischen Teileinzugsgebiet der Elbe.

Für die Homogenisierung der Niedrigwasserereignisse 1961 bis 1964 an den Elbepegeln Dresden und Neu Darchau bzgl. der heutigen Talsperrenwirkung von Orlik sind die damit verbundenen spezifischen Prozesse während der damals erfolgenden Inbetriebnahme wegen fehlender Informationen hierzu heute *im Detail* nicht mehr ohne Weiteres nachzuvollziehen. Daher wurde ein robuster, auf der Analyse von Trockenwetterfalllinien (TWL) an den Pegeln Dresden und Neu Darchau basierender Ansatz gewählt, der bereits im Kapitel 1.8.3 in Bezug auf den Rheinpegel Kaub beschrieben wurde. Dabei wurden zunächst die deutlich ausgeprägten Trockenwetterfalllinien (bzw. Abschnitte dieser) der Jahre 1976, 1998, 1999, 2003, 2008 und 2018 am Pegel Dresden und der Jahre 2003, 2008, 2015, 2018 und 2019 am Pegel Neu Darchau (Ist-Zustand der heutigen Talsperrenwirkung) aus den täglichen Abflussreihen dieser Pegel extrahiert. Diese TWL wurden parallel zur Zeitachse verschoben, womit weitgehend kongruente Verläufe erreicht wurden, aus denen sich sog. *master recession curves* (MRC) mit ihren Parametern (Rückgangskoeffizienten, s. Kapitel 1.8.3) ableiten ließen.

Ausgehend von geeigneten Zeitpunkten und beobachteten Abflusswerten können damit MRC-Verläufe rekursiv berechnet und mit der Entwicklung der beobachteten Abflussganglinien verglichen werden (exemplarisch für den Pegel Dresden in Abbildung A2-1). Mit dieser Referenz können Ganglinienabschnitte erkannt werden, die von einer plausiblen Entwicklung unter Annahme des Ist-Zustands (heutige Talsperren und ihre Wirkungsweisen) abweichen.

Dies gilt am Pegel Dresden insbesondere für den Ganglinienabschnitt zwischen Mitte Juli und Ende September 1963 mit Abflüssen $< 60 \text{ m}^3/\text{s}$ im August. Hier ist ein Effekt durch die Füllung der in Betrieb genommenen Talsperre Orlik anzunehmen, so dass als NM7Q des Wasserhaushaltsjahres ein später ausgeprägter Wert ($116 \text{ m}^3/\text{s}$ am 05.01.1964) gewählt wird. Bei den Kenngrößen SumD und SumV in Bezug auf den Schwellenwert MNQ oder auf andere Schwellenwerte (s. Kapitel 3.3) wird die oben genannte Phase nicht berücksichtigt oder es werden die Werte der MRC als Näherung verwendet.

Im Wasserhaushaltsjahr 1962 zeigt die Abflussganglinie hingegen ab Anfang Juli ein vergleichbares Verhalten wie die MRC. Auch wenn eine Unsicherheit bzgl. des Startpunkts der MRC besteht (daher zwei alternative MRC in Abbildung A2-1) und die Orlík-Talsperre in diesem Jahr erst zu einem Teil gefüllt gewesen sein dürfte, entspricht der Ganglinienverlauf des Niedrigwasserereignisses 1962 weitgehend dem Verlauf von Trockenwetterfalllinien der jüngeren Vergangenheit. Offenbar war der Einfluss der Moldaukaskade in diesem Jahr bereits vergleichbar mit ihrem heute wirksamen Einfluss. Dies gilt insbesondere für den extremen Niedrigwasserbereich gegen Ende des Wasserhaushaltsjahres 1962. Es gab daher weder einen Grund noch die Möglichkeit, die Ganglinie und die aus ihr abgeleiteten Niedrigwasserkenngrößen nach dem hier gewählten methodischen Ansatz zu homogenisieren.

Auch im Wasserhaushaltsjahr 1964 entspricht der Verlauf der beobachteten Abflussganglinie zwischen Ende Mai und Ende Juli gut dem Verlauf der MRC, bevor die beobachtete Ganglinie für ca. zwei Wochen deutlich gegenüber der gegenüber der MRC absinkt. In diesen zwei Wochen wurde eine Homogenisierung der Abflussganglinie mithilfe der MRC vorgenommen. Die Niedrigwasserkenngrößen wurden anschließend aus der so homogenisierten Ganglinie abgeleitet.

Im Wasserhaushaltsjahr 1961 gab es schließlich am Pegel Dresden keine ausgeprägte Niedrigwasserphase, so dass hier keine Homogenisierung in Bezug auf die beabsichtigte Niedrigwasserstatistik vorgenommen wurde.

Die Homogenisierung am Pegel Neu Darchau erfolgte im Zeitraum 1961/1964 weitgehend analog zum Pegel Dresden. Hinzu kamen hier im Detail kaum zuverlässig quantifizierbare Einflüsse aus der Einleitung von Sumpfungswasser in die Schwarze Elster und die Spree (s. Kapitel 2.1.4). Da sie Anfang der 1960er Jahre eine ähnliche Größenordnung hatten wie in der jüngeren Vergangenheit, aus der die für die Homogenisierung genutzten TWL stammen (s. o.), wurde die Wirkung der Sumpfungswässer für die Homogenisierung der Niedrigwasserabflüsse im Zeitraum 1961/1964 nicht berücksichtigt.

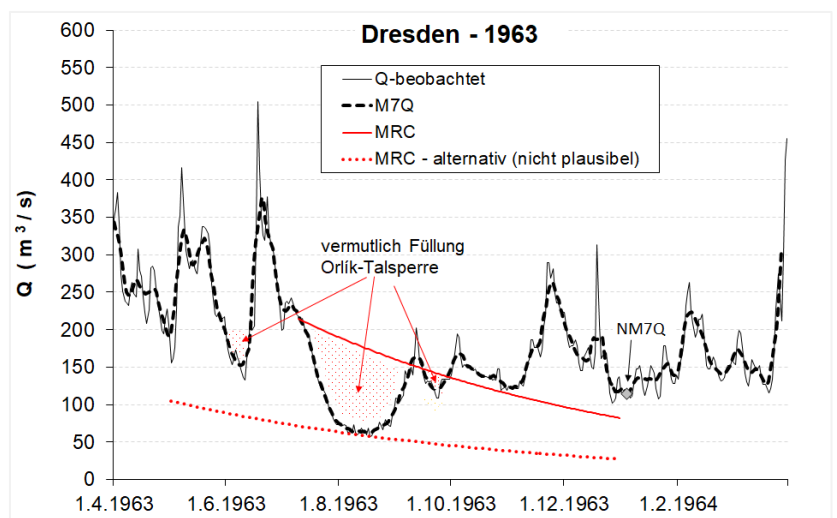
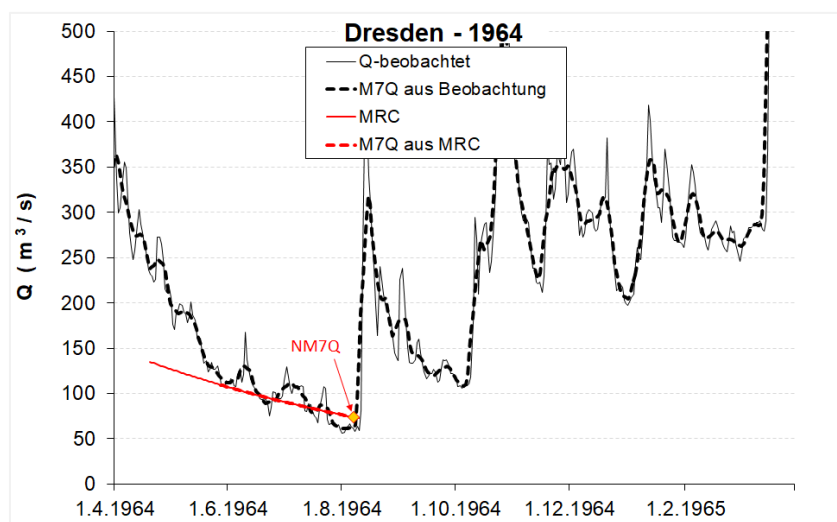
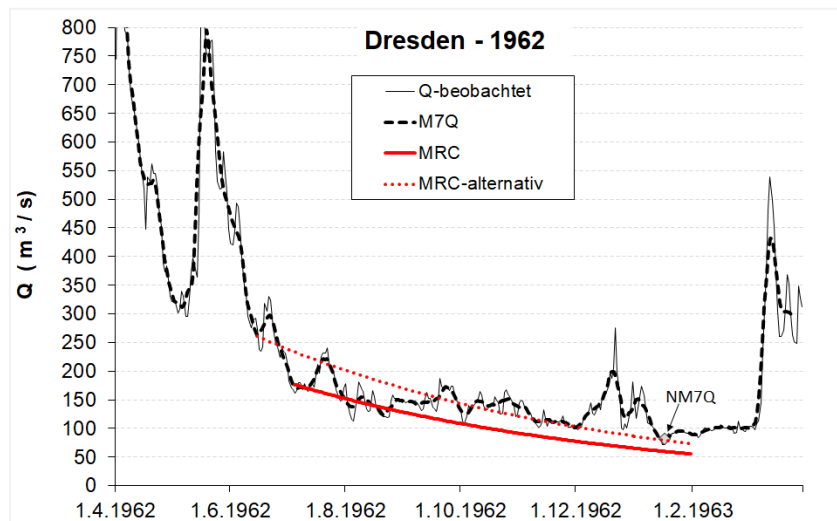


Abbildung A2-1: Tägliche Abflussganglinien Q des Pegels Dresden für die Wasserhaushaltsjahre 1962 bis 1964, siebentägig gemittelte Abflüsse $M7Q$ sowie für den heutigen Zustand abgeleitete *master recession curves* (MRC).

A2-2 Analysen zu den Voraussetzungen der Extremwertstatistik an ausgewählten Flusspegeln (Bezug: Kapitel 3.3)

Für die acht analysierten Pegel (Hohensaaten-Finow/Oder, Intschede/Weser, Dresden/Elbe, Neu Darchau/Elbe, Maxau/Rhein, Kaub/Rhein, Köln/Rhein und Hofkirchen/Donau) wurden jeweils Serien der Niedrigwasserkenngößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) ab Beginn der systematisch beobachteten Reihen täglicher Abflüsse und damit auch für die Bezugsperiode der Wasserhaushaltsjahre 1961/2018 der vorgesehenen Niedrigwasserextremwertstatistiken gebildet.

Bei der extremwertstatistischen Wahrscheinlichkeitsanalyse dieser Serien müssen einige Voraussetzungen in hinreichendem Maß erfüllt sein. Hierzu wurden im Kapitel 3.3 Methoden der grafischen Analyse und Trendanalyse sowie Ergebnisse aus ihrer Anwendung exemplarisch für den Rheinpegel Maxau vorgestellt. Entsprechende Ergebnisse für die weiteren in dieser Studie analysierten Pegel werden dort hingegen zum Teil nur zusammenfassend mitgeteilt. In der vorliegenden Anlage erfolgt eine ergänzende Dokumentation dieser Ergebnisse mit:

- > Wahrscheinlichkeitsdiagrammen mit empirischen Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Serien (Abbildungen A2-2 bis A2-10, ergänzend zu Abbildung 3-2 des Kapitels 3) mit anschließenden Anmerkungen zu den Pegeln Dresden und Neu Darchau
- > Zeitreihendiagramme der Serien, einschließlich 30-jährlicher gleitender Mittelwerte und Trends nach verschiedenen Verfahren (Abbildungen A2-11 bis A2-20, ergänzend zu Abbildung 3-2 des Kapitels 3) mit pegelbezogenen Ansprachen der Ergebnisse der Trendanalysen

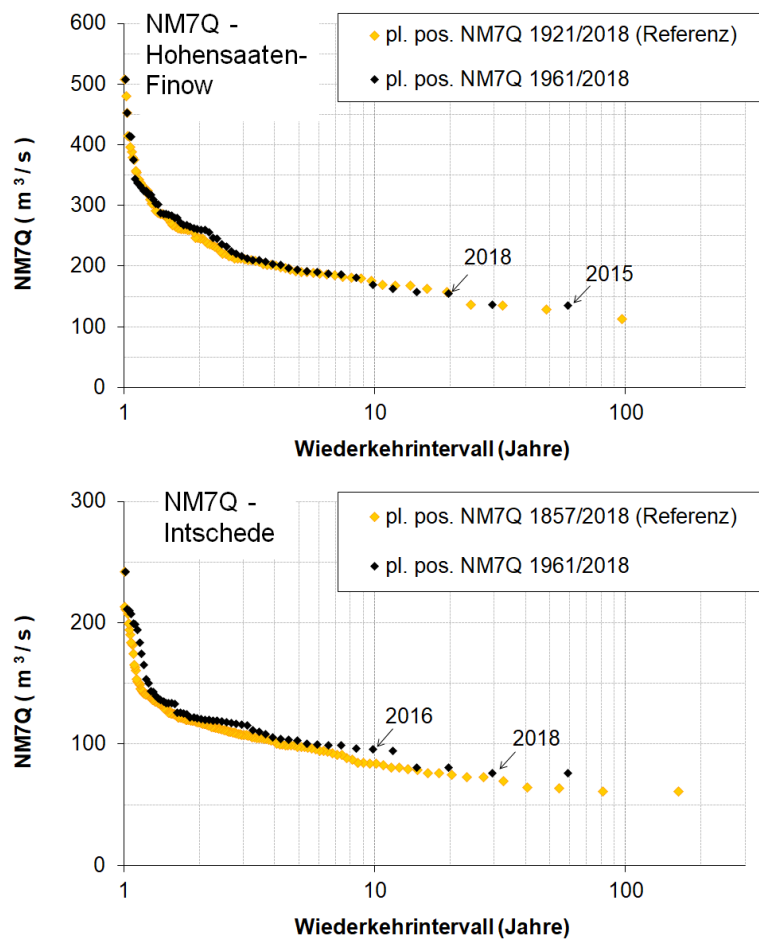


Abbildung A2-2: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die NM7Q-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Pegeln Hohensaaten-Finow/Oder und Intschede/Weser.

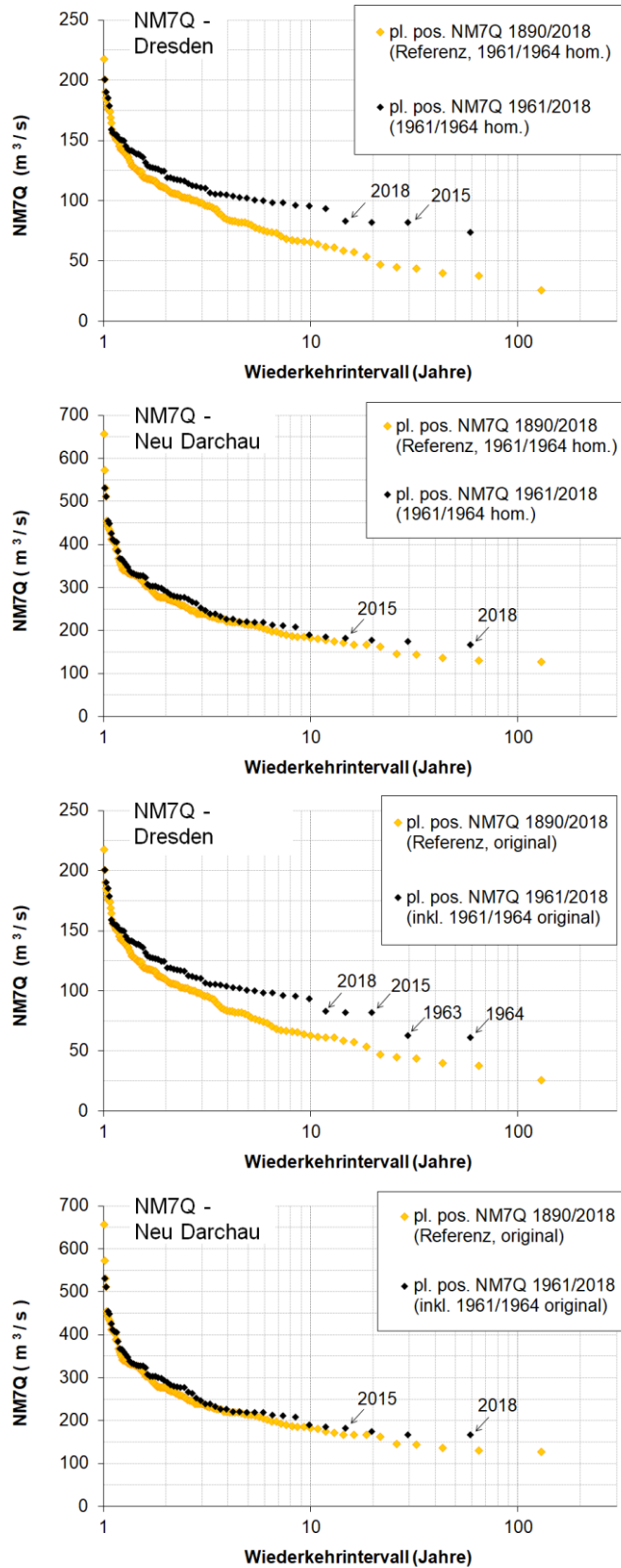


Abbildung A2-3: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die NM7Q-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Elbepegeln Dresden und Neu Darchau. Die Verteilungen werden mit und ohne die für die Wasserhaushaltsjahre 1961/1964 vorgenommenen Homogenisierungen im Vergleich dargestellt.

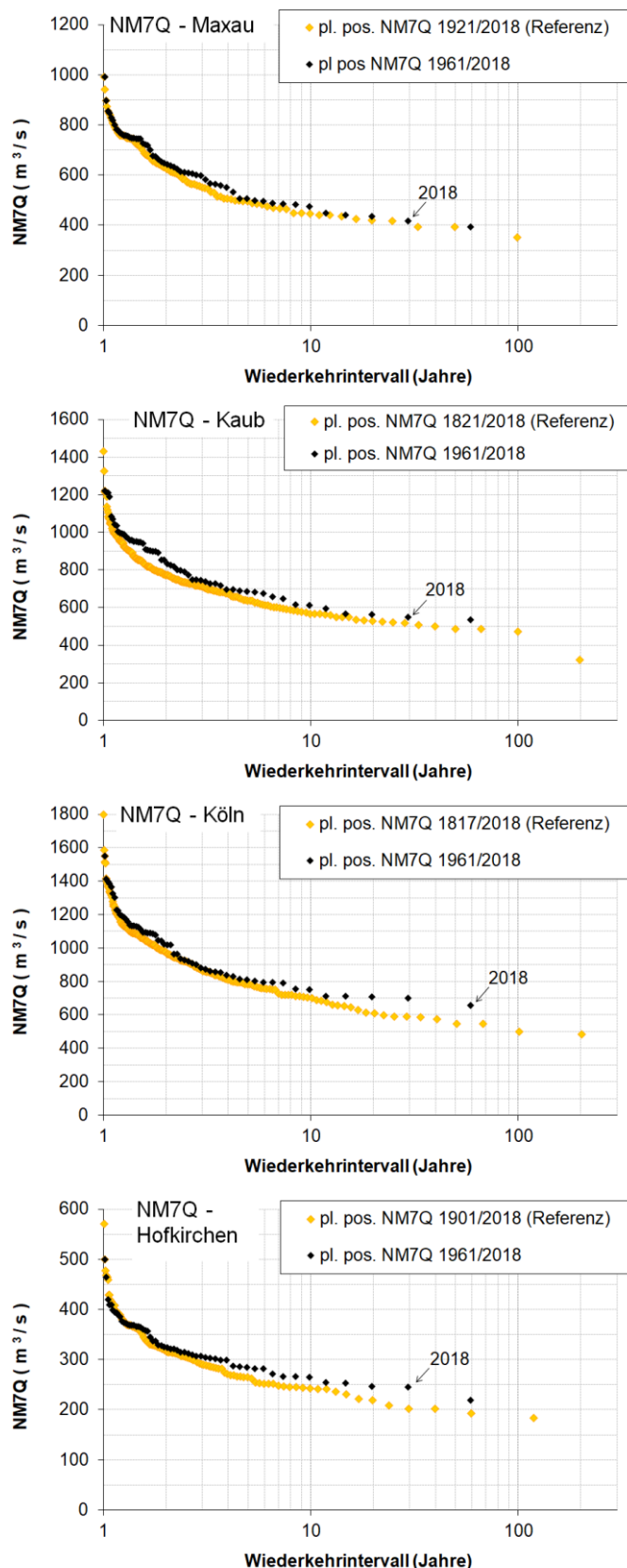


Abbildung A2-4: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die NM7Q-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Rheinpegeln Maxau, Kaub, Köln und dem Pegel Hofkirchen/Donau.

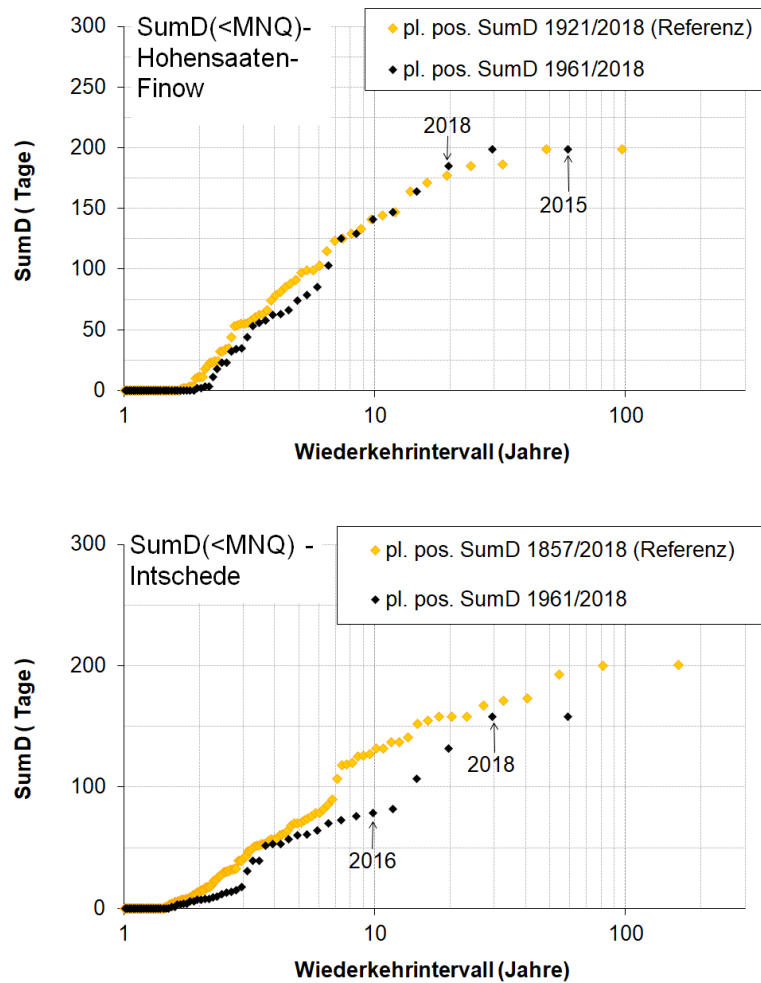


Abbildung A2-5: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumD(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Pegeln Hohensaaten-Finow/Oder und Intschede/Weser.

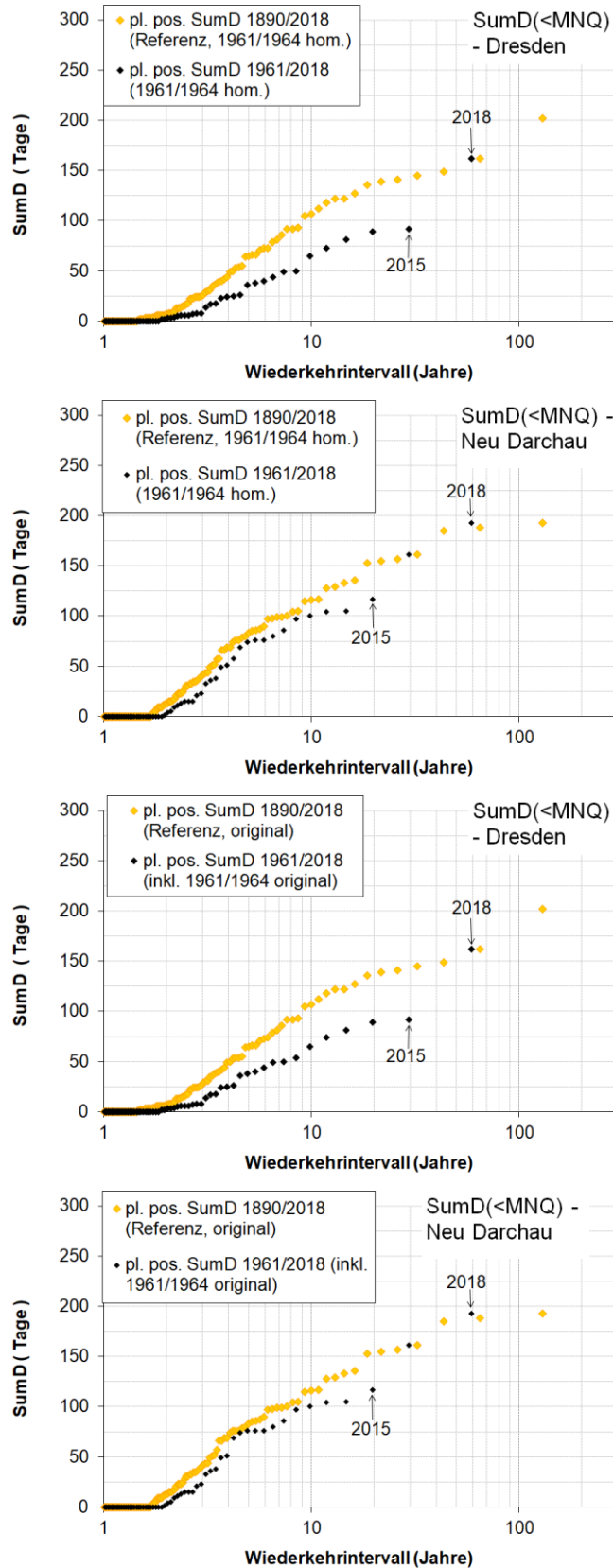


Abbildung A2-6: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumD(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Elbepegeln Dresden und Neu Darchau. Die Verteilungen werden mit und ohne die für die Wasserhaushaltsjahre 1961/1964 vorgenommenen Homogenisierungen im Vergleich dargestellt.

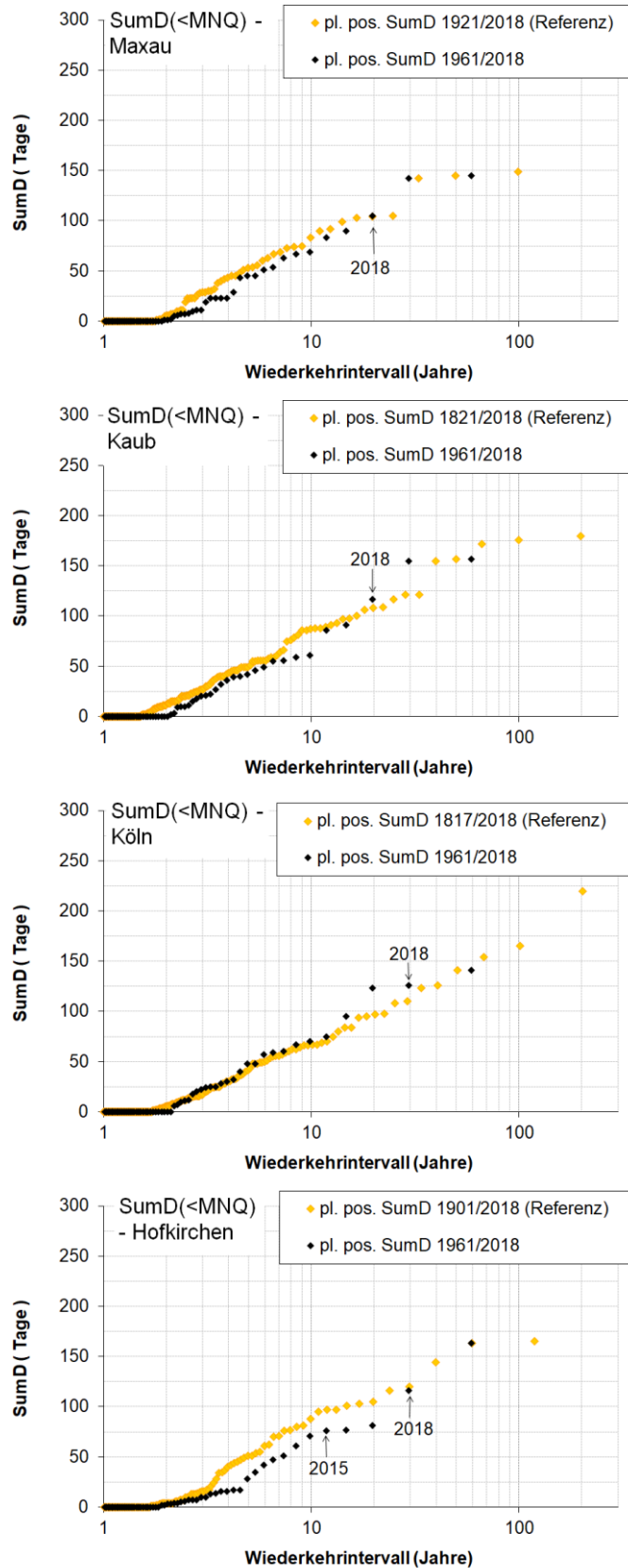


Abbildung A2-7: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumD(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Rheinpegeln Maxau, Kaub, Köln und am Pegel Hofkirchen/Donau.

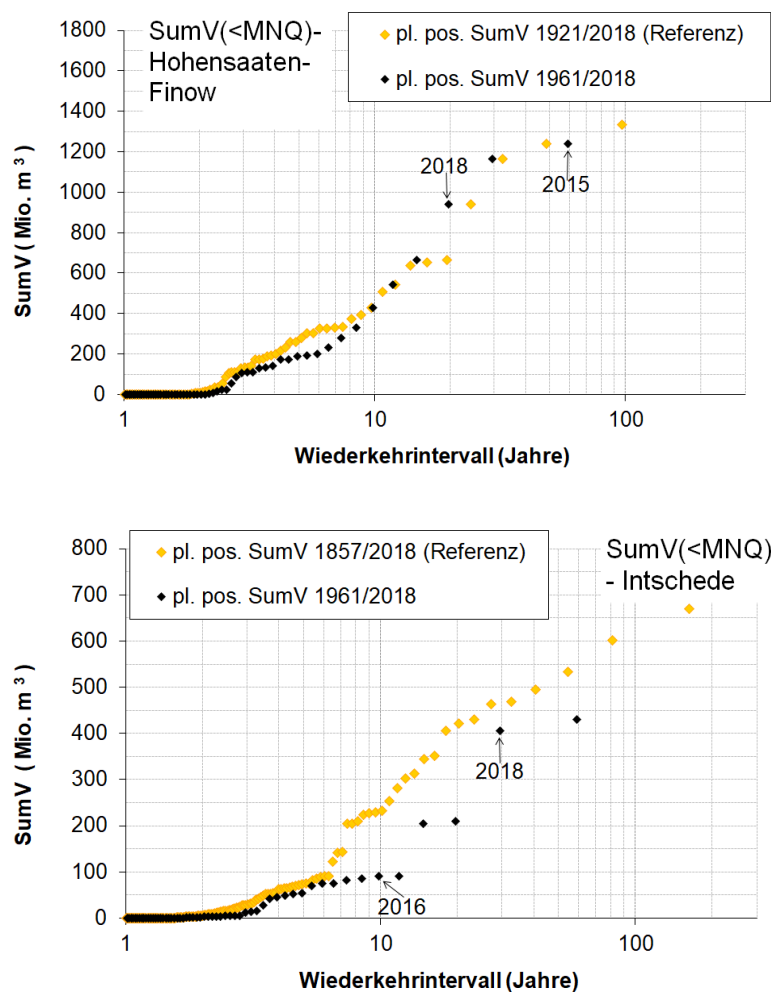


Abbildung A2-8: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumV(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Pegeln Hohensaaten-Finow/Oder und Intschede/Weser.

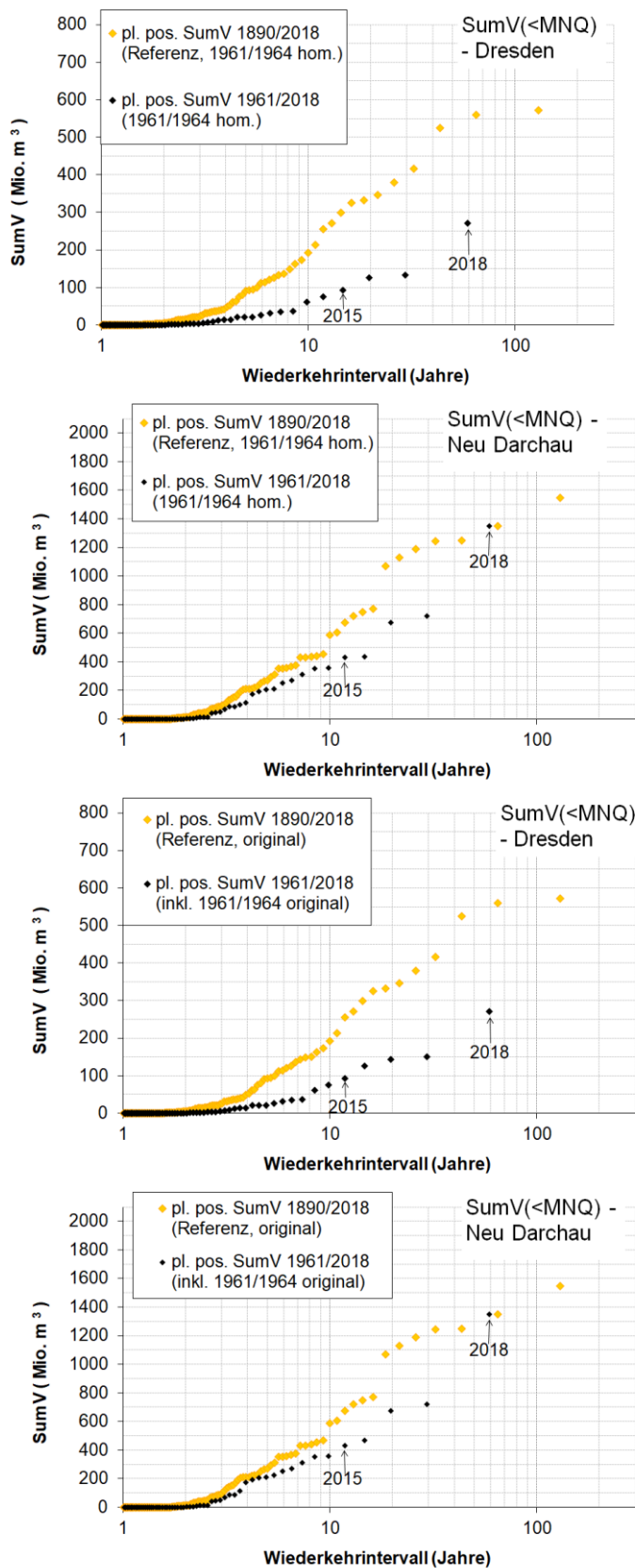


Abbildung A2-9: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumV(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Elbepegeln Dresden und Neu Darchau. Die Verteilungen werden mit und ohne die für die Wasserhaushaltsjahre 1961/1964 vorgenommenen Homogenisierungen im Vergleich dargestellt.

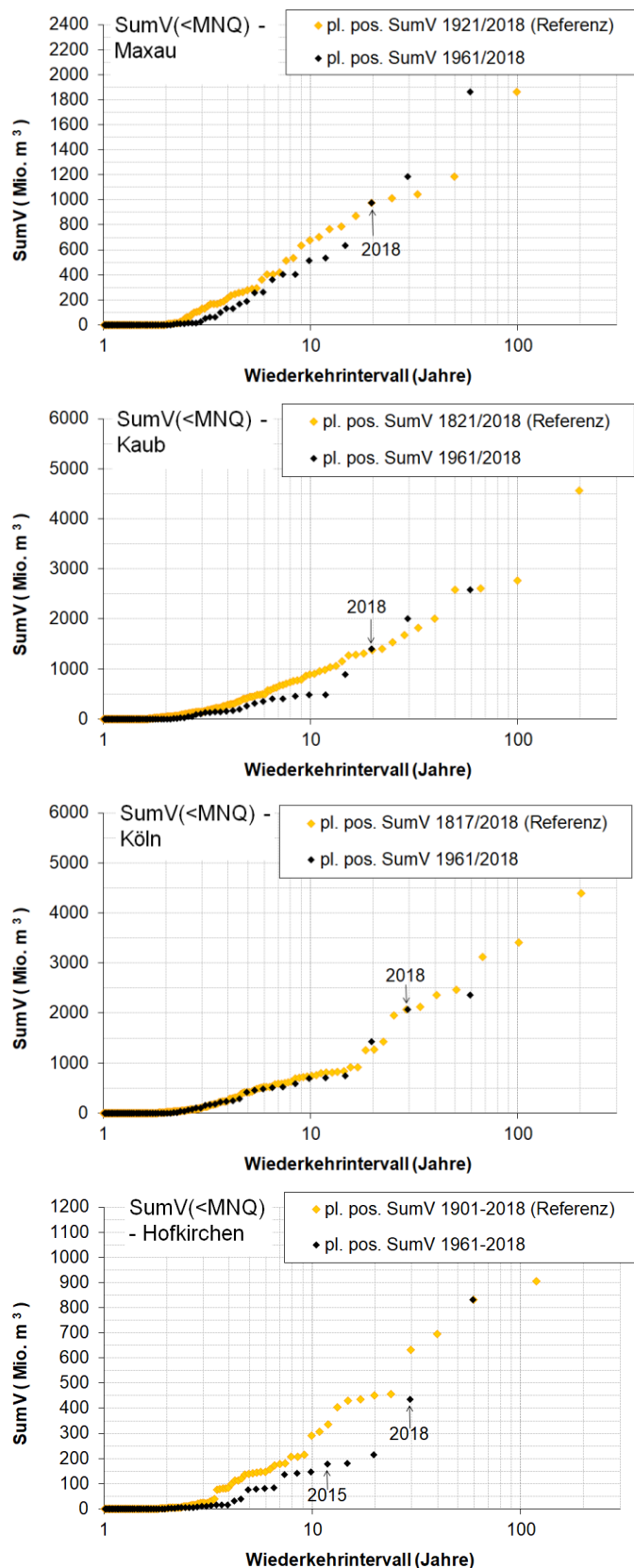


Abbildung A2-10: Empirische Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) und ihre Verteilungen in Wahrscheinlichkeitsdiagrammen für die SumV(<MNQ)-Serien 1961/2018 sowie ab Beginn der verfügbaren Abflussreihen bis 2018 an den Rheinpegeln Maxau, Kaub, Köln und am Pegel Hofkirchen/Donau.

Anmerkungen zu den Pegeln Dresden und Neu Darchau

In ihrer Gesamtcharakterisierung zeigen die Serien ab 1961 in Den Abbildungen A2-2 bis A2-10 mit Ausnahme der NM7Q-Serien des Elbepegels Dresden ohne Homogenisierung 1961/1964 (Abbildung A2-3) keine offensichtlichen Hinweise auf bisher nicht erkannte Inkonsistenzen in den zugrunde liegenden Abflussdaten oder Inhomogenitäten im Abflussprozess.

Bei der Ausnahme des Elbepegels Dresden ohne Homogenisierung bzgl. Talsperrenwirkung für die Wasserhaushaltsjahre 1961/1964 fallen insbesondere die im Vergleich zur sonstigen Verteilung sehr geringen NM7Q der Jahre 1963 und 1964 auf, während sich die homogenisierten Werte dieser Jahre (ebenfalls in Abbildung A2-3) plausibel in die Verteilung der anderen Jahre eingliedern. Hiermit wird die durchgeführte Homogenisierung für die Jahre 1961/1964 am Pegel Dresden (s. Kapitel 3.2 bzw. A2-1) bestätigt. Am Elbepegel Neu Darchau fallen die Unterschiede zwischen den Varianten mit und ohne Homogenisierung der Jahre 1961/1964 hingegen nur schwach aus (Abbildung A2-3), da sie offensichtlich durch die hydrologischen Prozesse zwischen den beiden Pegeln weitgehend ausgeglichen werden. Dementsprechend sind auch die mit der Homogenisierung am Pegel Neu Darchau verbundenen Unsicherheiten im Gesamtbild und damit für die zu entwickelnden Niedrigwasserstatistiken nur gering.

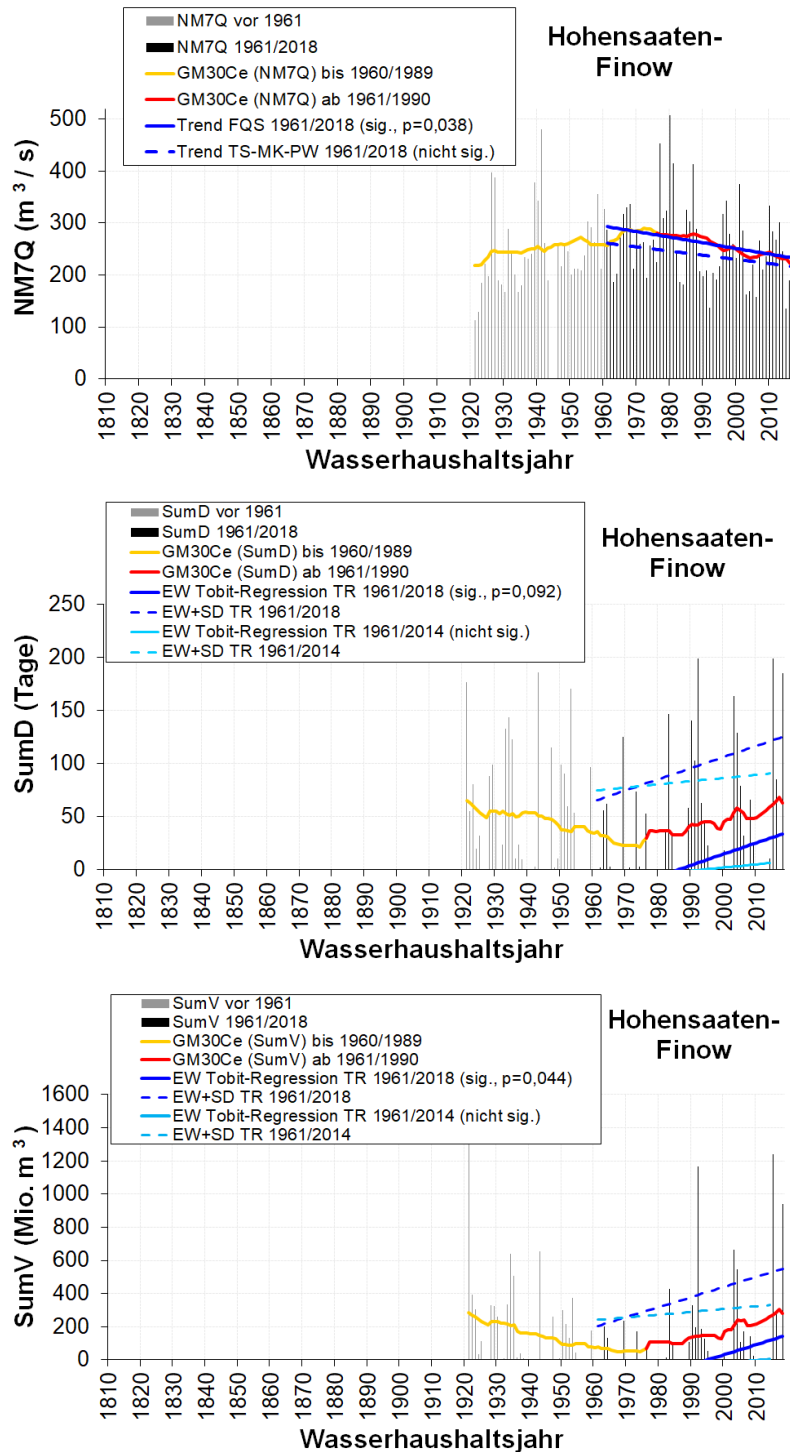


Abbildung A2-11: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ)) am Pegel Hohensaaten-Finow (Oder) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

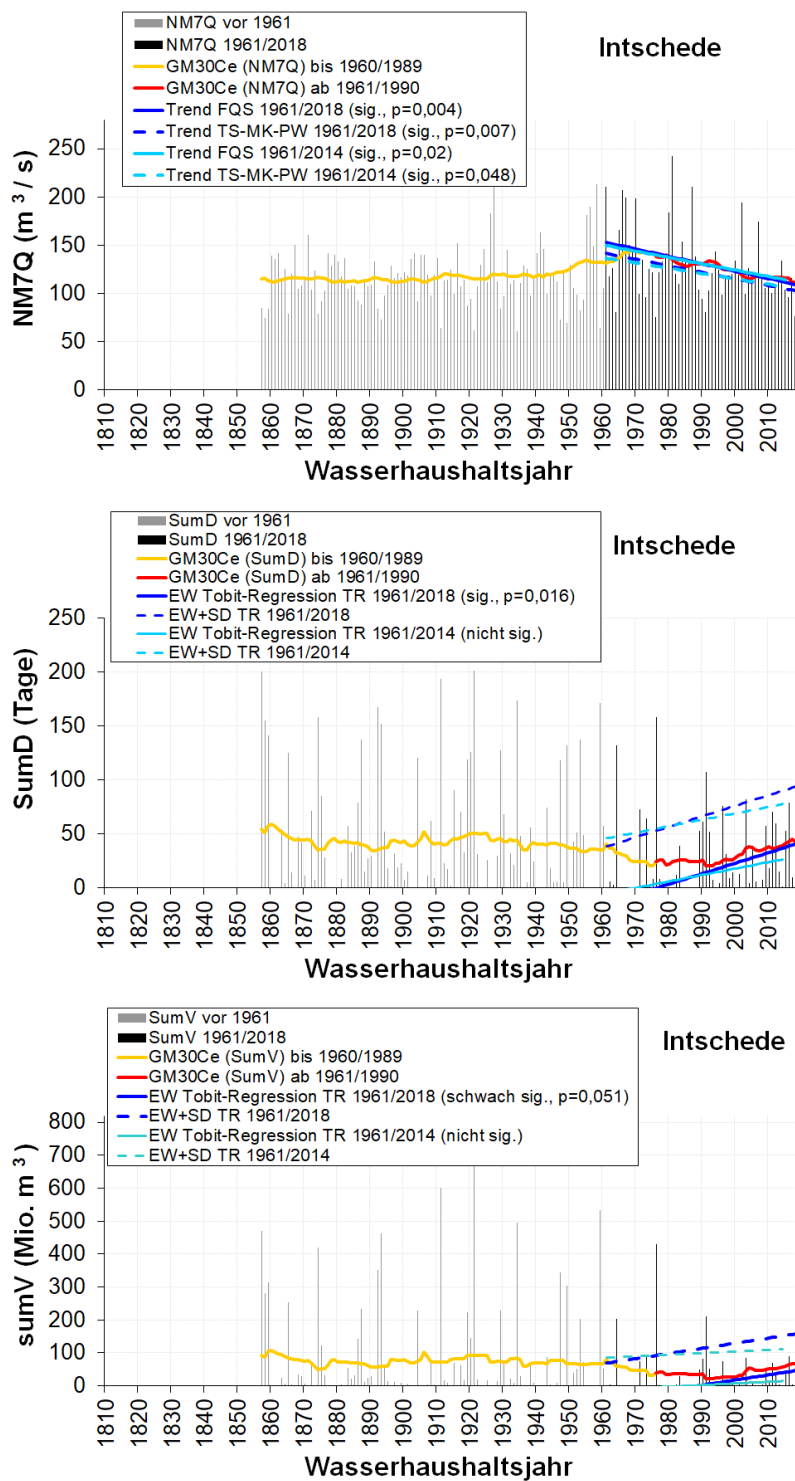


Abbildung A2-12: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ)) am Pegel Intschede (Weser) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

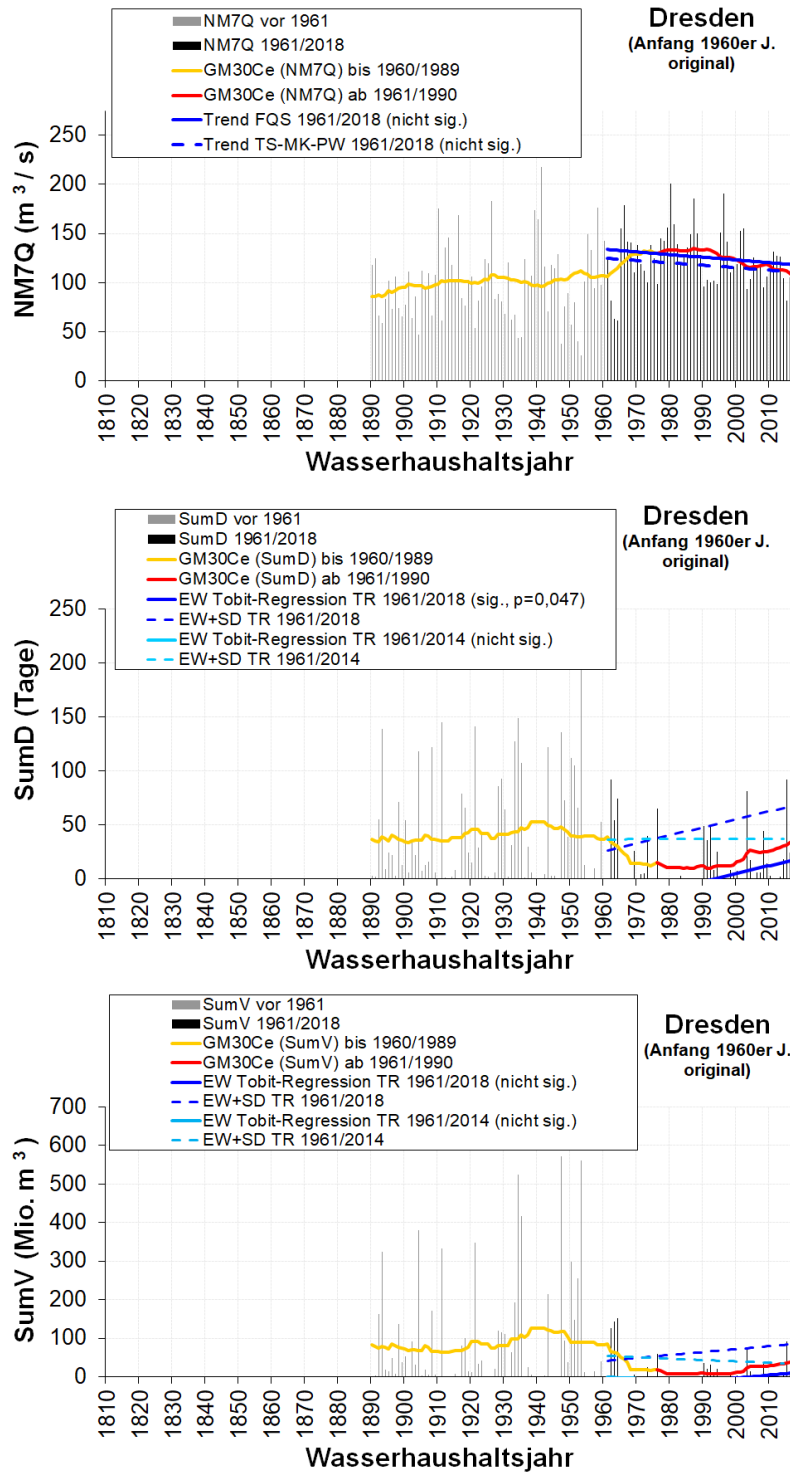


Abbildung A2-13: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ)) am Pegel Dresden (Elbe) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961 (1961/1964 originale Werte). Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

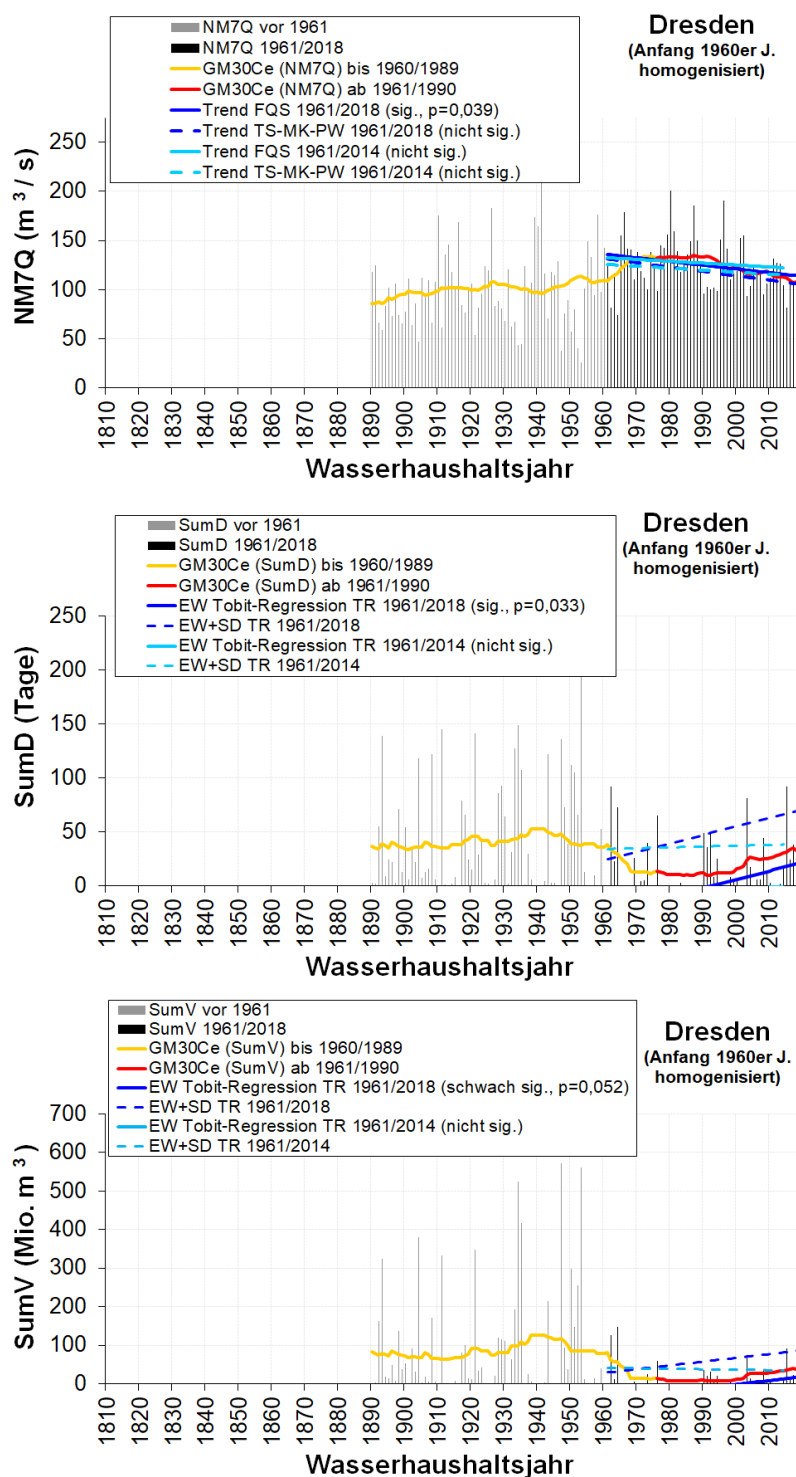


Abbildung A2-14: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ)) am Pegel Dresden (Elbe) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961 (1961/1964 homogenisiert). Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

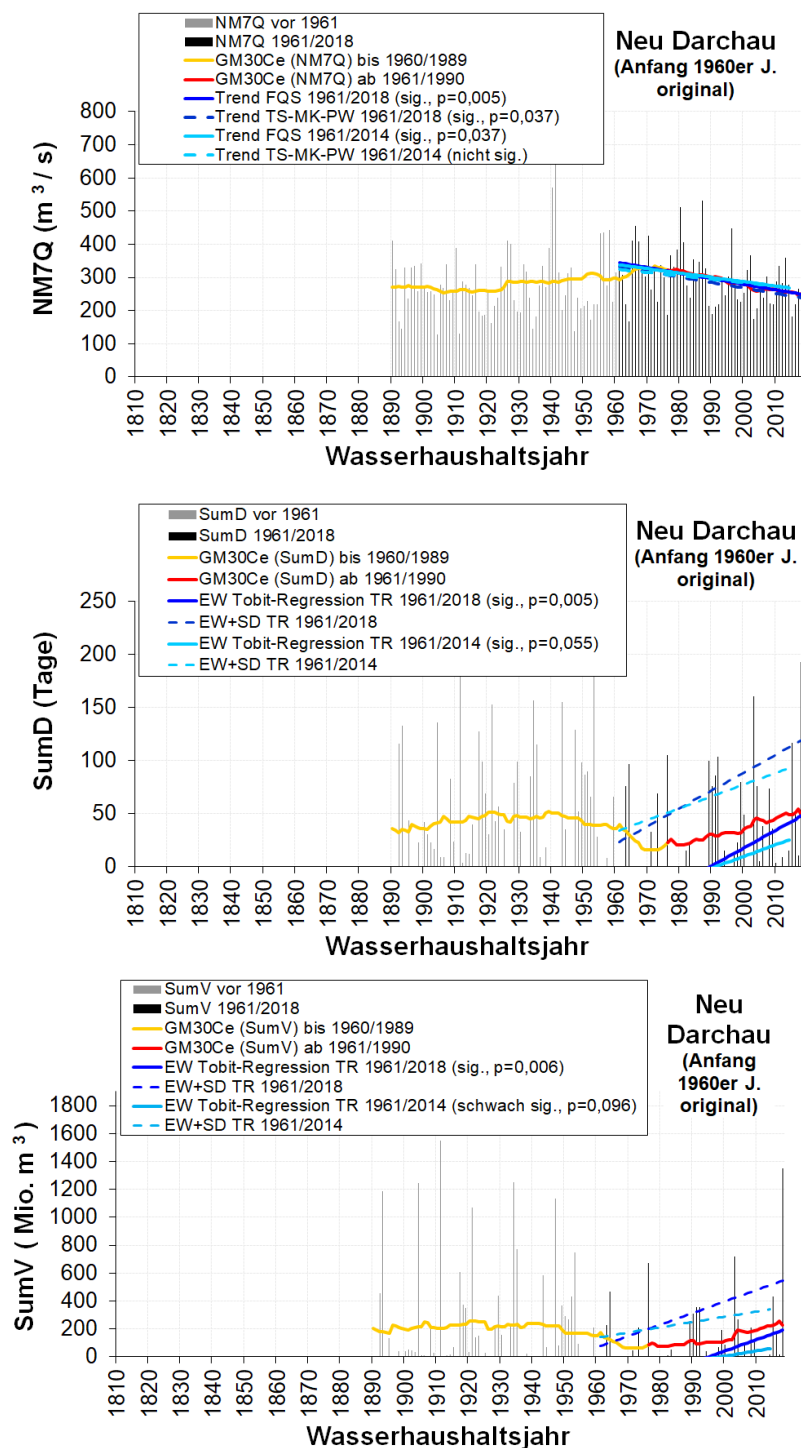


Abbildung A2-15: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ)) am Pegel Neu Darchau (Elbe) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961 (1961/1964 originale Werte). Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

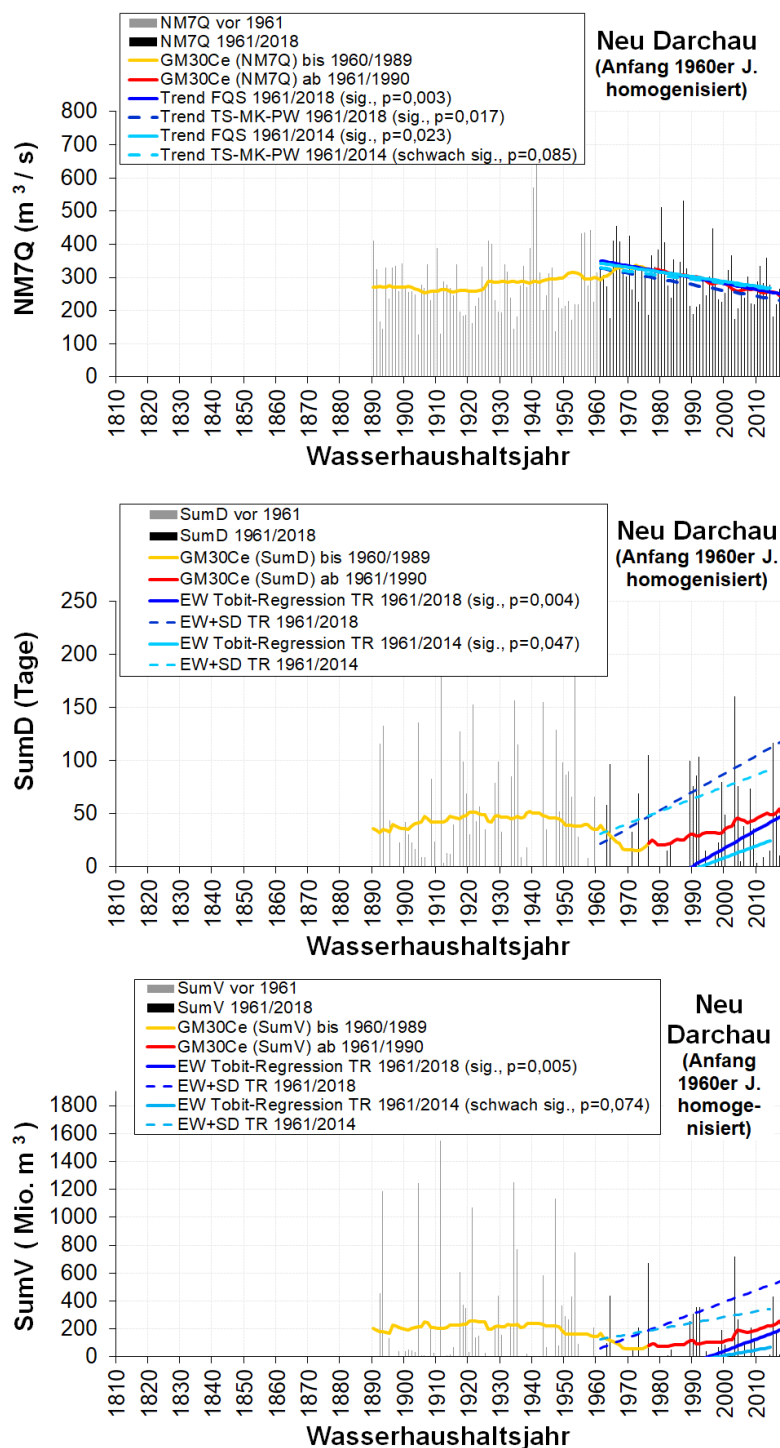


Abbildung A2-16: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ) am Pegel Neu Darchau (Elbe) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961 (1961/1964 homogenisiert). Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

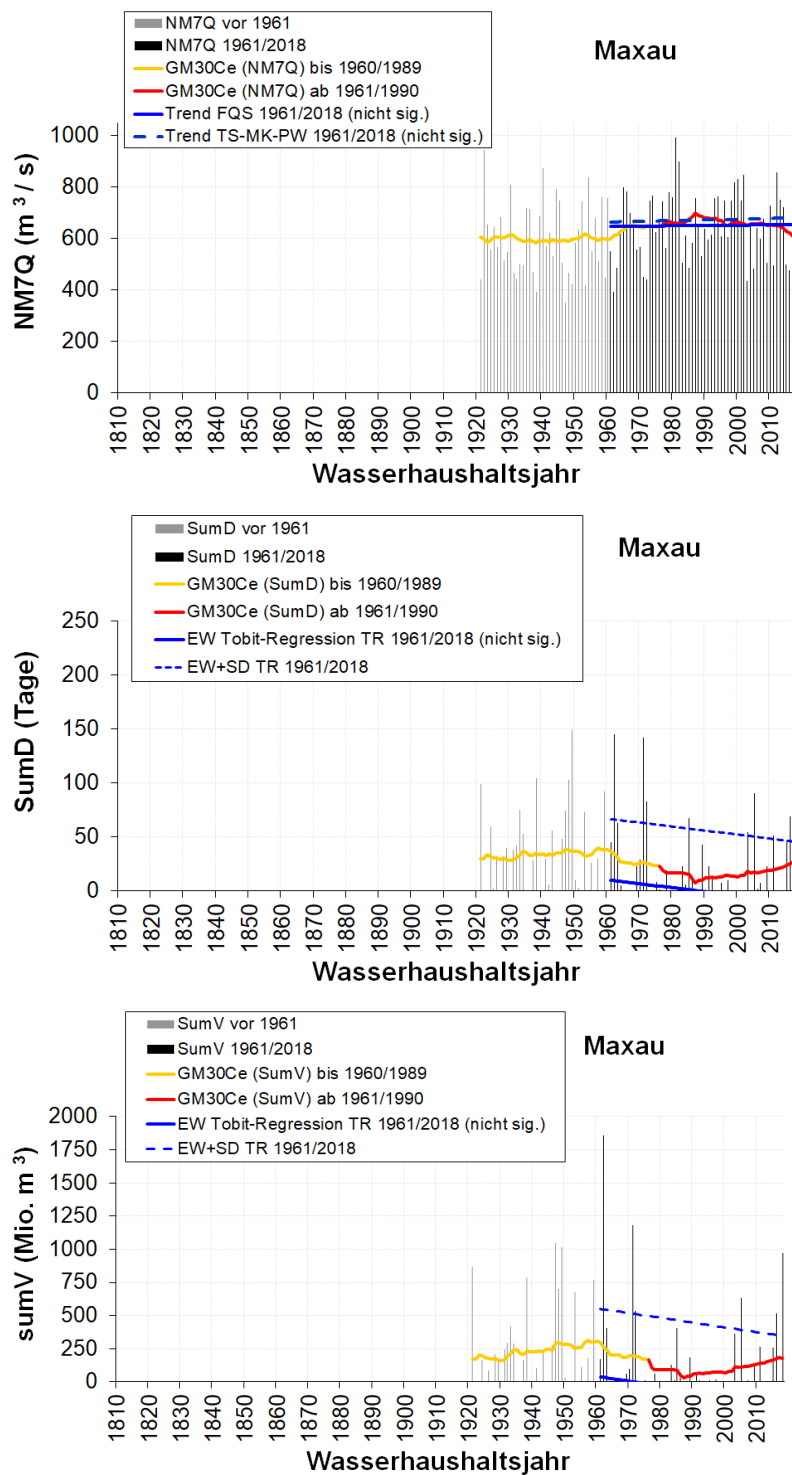


Abbildung A2-17: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ)) am Pegel Maxau (Rhein) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

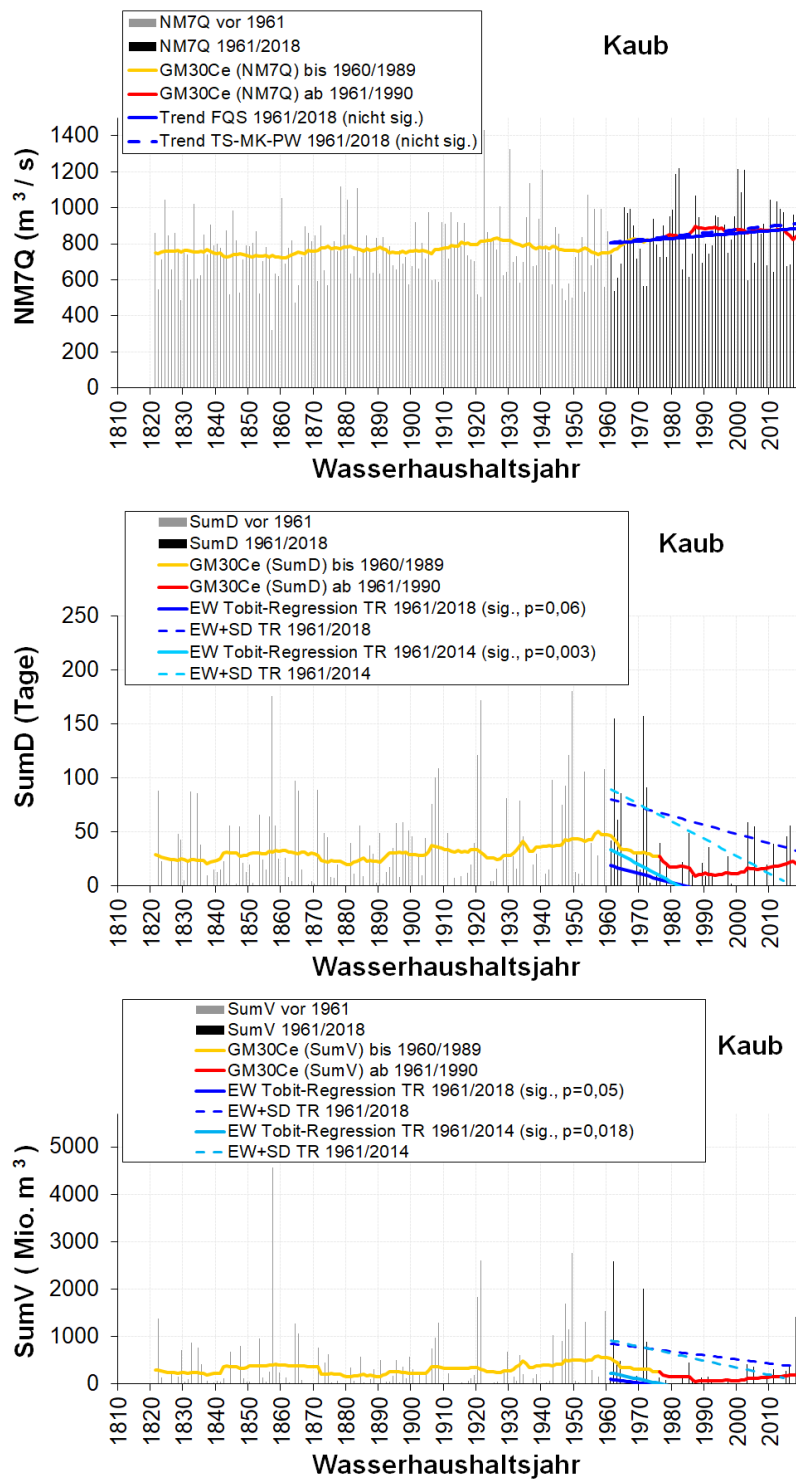


Abbildung A2-18: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ)) am Pegel Kaub (Rhein) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

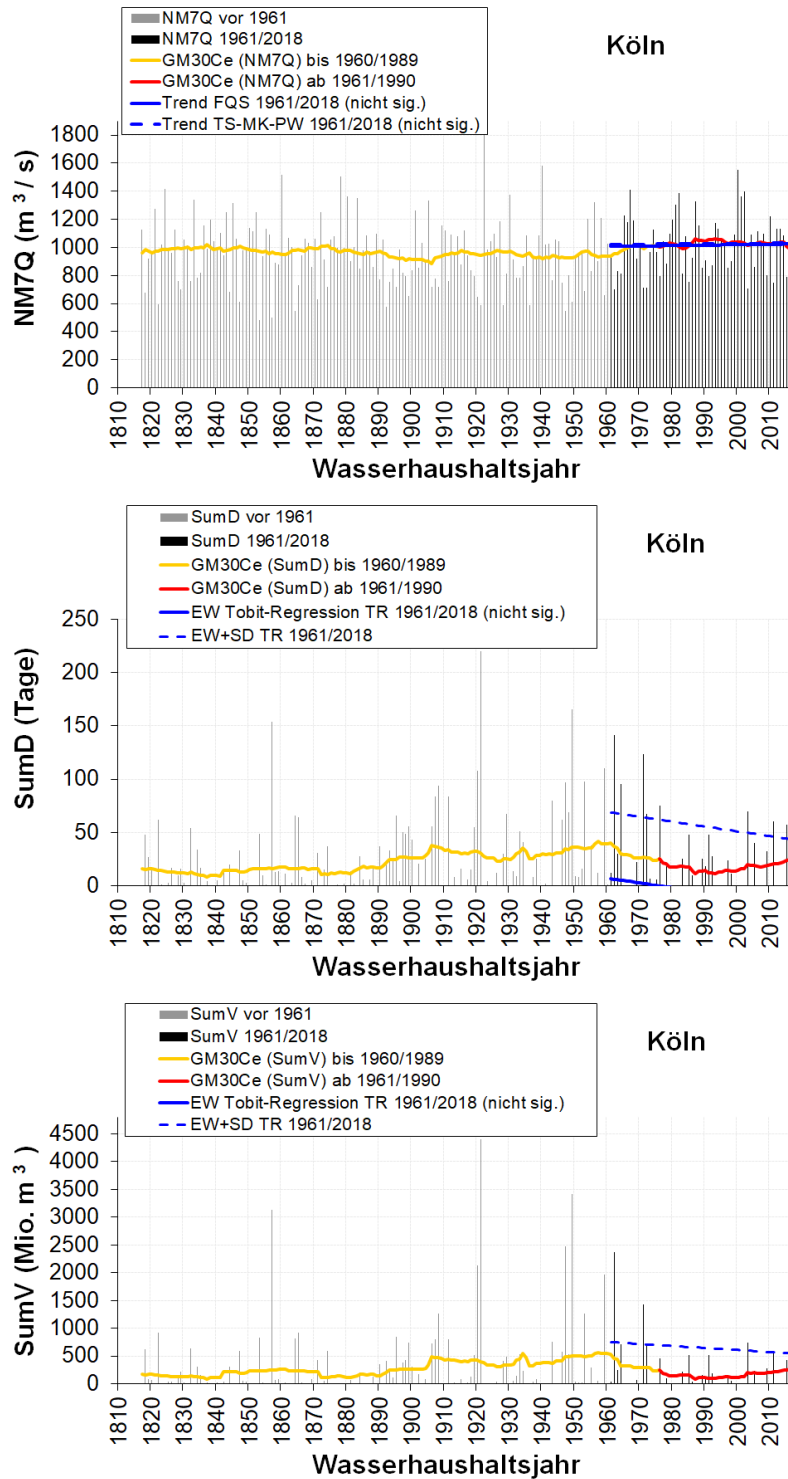


Abbildung A2-19: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ)) am Pegel Köln (Rhein) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

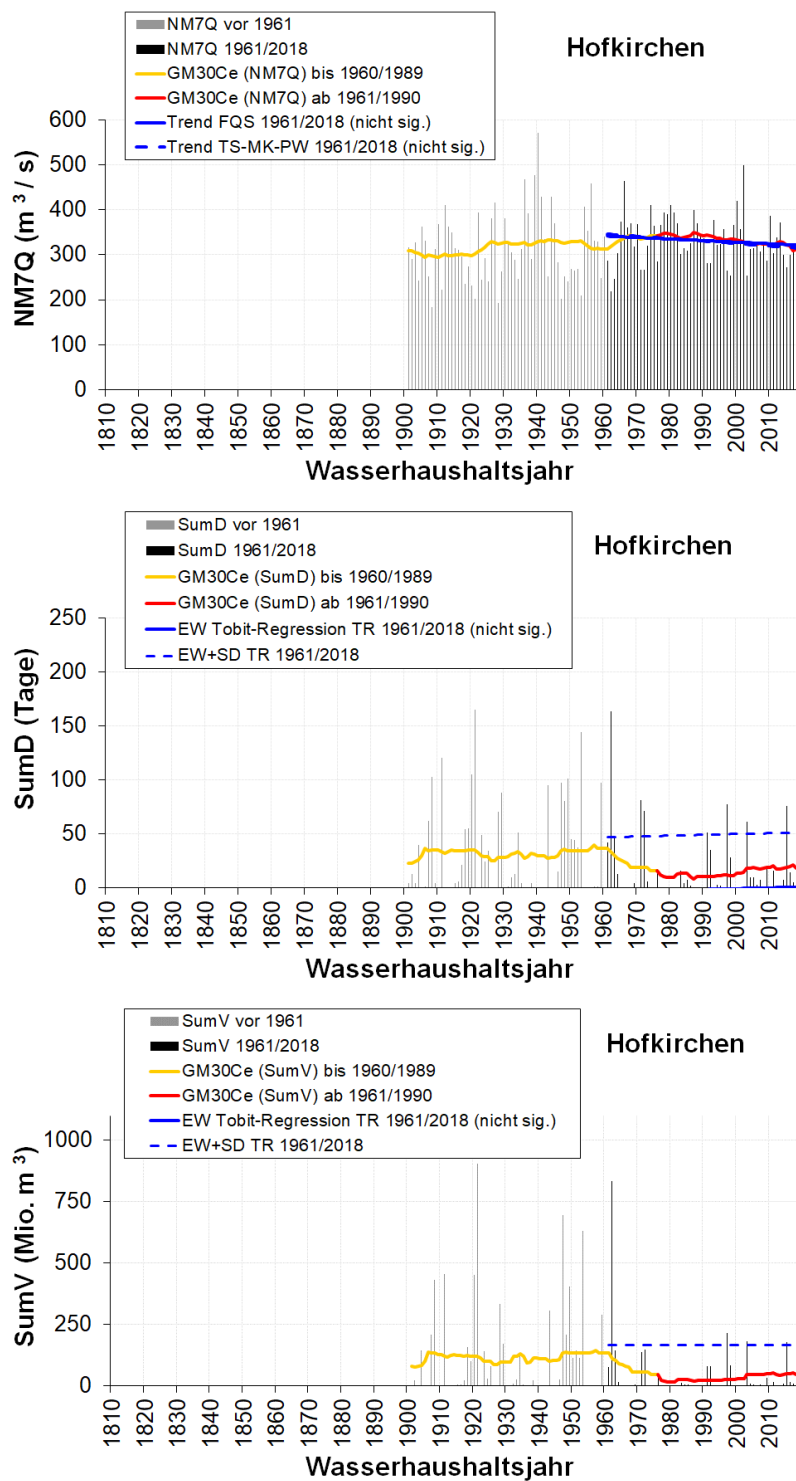


Abbildung A2-20: Serien jährlicher Niedrigwasserkenngrößen (NM7Q, SumD(<MNQ), SumV(<MNQ)) am Pegel Hofkirchen (Donau) ab Beginn der verfügbaren Abflussreihe und ab Wasserhaushaltsjahr 1961. Eingezeichnet sind zudem 30-jährige gleitende Mittelwerte mit zentriertem Zeitbezug (GM30Ce) und Trends für angegebene Zeiträume nach verschiedenen Verfahren (FQS - Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme mit t-Test, TS-MK-PW - Theil/Sen mit prewhitening und Trendtest nach Mann-Kendall, TR - Tobit-Regression, jeweils mit Signifikanzangabe, ggf. als p-Wert bei einseitiger Fragestellung. Bei den Tobit-Regressionen werden der Erwartungswert (EW) und der Erwartungswert + Standardabweichung (EW+SD) dargestellt.)

Ergebnisansprache der Trendanalysen für die Serien NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 pro Pegel

Im Kapitel 3.3 werden nur eine exemplarische detaillierte Ansprache der Ergebnisse der Trendanalysen für den Rheinpegel Maxau und eine zusammenfassende Dokumentation der Ergebnisse für die anderen in dieser Studie analysierten Pegel gegeben. Nachfolgend wird hier eine detaillierte Ergebnisansprache für alle untersuchten Pegel ergänzt. Die Entscheidung bzgl. der Signifikanz, schwachen Signifikanz oder Nichtsignifikanz eines Trends erfolgt nach den im Kapitel 3.3 erläuterten Kriterien.

Am Oderpegel Hohensaaten-Finow (Abbildung A2-11) ergab sich für die NM7Q-Serie 1961/2018 (autokorreliert) unter Einbeziehung eines prewhitening kein signifikanter Trend. Für die Serien der SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 ergaben sich zwar schwach signifikant bzw. knapp signifikant steigende Trends, für die Serien 1961/2014 jedoch noch nicht. Die teilweise festgestellten Trends signifikanz entstanden somit offenbar erst mit der Niedrigwassersequenz 2015/2018, die wiederum eher die Folge einer mehrjährigen Variabilität als diejenige eines langfristigen Trends ist. Zurzeit können die Trends für SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) damit noch keine langfristig wirksame Instationarität begründen.

Am Weserpegel Intschede (Abbildung A2-12) ergab sich für die NM7Q-Serie 1961/2018 (autokorreliert) auch unter Einbeziehung eines prewhitening ein signifikant fallender Trend, für die Serie 1961/2014 war dieser jedoch lediglich knapp signifikant. Bei den Serien SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) entsprechen die Ergebnisse im Grundsatz denen an den Pegeln Hohensaaten-Finow (s. o.) und Dresden (homogenisiert, s. u.): signifikanter bzw. schwach signifikanter Trend für die Serien 1961/2018, jedoch kein signifikanter Trend für die Serien 1961/2014. Mit diesen Einschränkungen bzgl. der Trends signifikanz wird auch am Pegel Intschede nach entsprechender Argumentation wie an den beiden genannten Vergleichspegeln noch keine langfristig wirksame Instationarität angenommen.

Am Elbepegel Dresden (Abbildungen A2-13 und A2-14) ergab sich für die NM7Q-Serie 1961/2018 (autokorreliert, s. o.) unter Einbeziehung eines prewhitening kein signifikanter Trend, weder bei vorgenommener Homogenisierung für die Jahre 1961/1964 noch ohne diese. Für die Serien der SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 ergaben sich, ähnlich wie an den Pegeln Hohensaaten-Finow und Intschede, signifikant bzw. schwach signifikant steigende Trends für die homogenisierte Serie, ohne Homogenisierung jedoch abweichend davon kein signifikanter Trend für SumV(<MNQ).

In allen Fällen waren Trends für SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) in den Serien 1961/2014, wie an den o. g. Vergleichspegeln, jedoch noch nicht signifikant feststellbar. Mit einer entsprechenden Argumentation wie am Pegel Hohensaaten-Finow (s. o.) wird daher auch am Pegel Dresden insgesamt noch keine langfristig wirksame Instationarität angenommen.

Allerdings sind die berechneten Trends am Elbepegel Neu Darchau (Abbildungen A2-13 und A2-14) deutlicher ausgeprägt als am Pegel Dresden. Für die NM7Q-Serie 1961/2018 wurde unter Einbeziehung eines prewhitening ein signifikant fallender Trend ermittelt, sowohl für die Variante mit Homogenisierung für die Jahre 1961/1964 als auch ohne diese Homogenisierung. Für die Serie 1961/2014 war dieser Trend jedoch auch hier noch nicht in dieser Weise

ausgeprägt, sondern nur schwach signifikant fallend (homogenisierte Variante) bzw. nicht signifikant (Variante mit Originaldaten). Für die Serien der SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 ergaben sich, wie zum Teil für Dresden, in beiden Varianten signifikant steigende Trends. Diese waren für die Serien 1961/2014 auch hier noch deutlich schwächer ausgeprägt (knapp bzw. schwach signifikant). Mit den genannten Einschränkungen bzgl. der Trendsignifikanzen und mit einer entsprechenden Argumentation wie für die Pegel Dresden und Hohensaaten-Finow (s. o.) werden auch am Pegel Neu Darchau die berechneten Trends noch nicht als langfristig ausgeprägte Instationarität interpretiert. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass der langfristig variable Einfluss der eingeleiteten Sumpfwässer nicht der zeitlichen Struktur eines (linearen) Trends ab dem Jahr 1961 entspricht (vgl. Kapitel 2.1.4 und Anlage 1. Ohne Trendannahme wird hier schließlich auch eine einheitliche Sichtweise an den Elbepegeln gewahrt.

An den Rheinpegeln Maxau und Köln ergab sich für alle drei Kenngrößen nach keinem der verwendeten Verfahren ein signifikanter Trend. Die ermittelten, nichtsignifikanten Trendgeraden (mit geringen Steigungsbeträgen) sind dennoch in die Diagramme von Abbildung A2-17 und Abbildung A2-18 eingezeichnet, auch als Referenz für die ermittelten Trendgeraden an den anderen Pegeln.

Am Rheinpegel Kaub (Abbildung A2-18) wurde für die NM7Q-Serie ebenfalls kein signifikanter Trend gefunden. Für SumV(<MNQ) ergab sich in Bezug auf die Serie 1961/2018 jedoch ein schwach signifikanter und für SumD(<MNQ) knapp ein signifikanter Trend. Vergleichsrechnungen für die Serien 1961/2014 führten allerdings zu stärker signifikanten Trends, die somit durch die Niedrigwassersequenz 2015/2018 deutlich abgeschwächt wurden. Dieser Vergleich zeigt auch allgemein die u. U. recht sensitive Reaktion der über Tobit-Regression berechneten Trends auf bereits wenige zusätzliche Jahre. Mit der angesprochenen Entwicklung ab 2015, der nur schwachen bzw. knappen Signifikanz der SumV(<MNQ)- und SumD(<MNQ)-Serien 1961/2018, sowie trendfreien Serien für NM7Q am Pegel Kaub und für alle Kenngrößen an den anderen Rheinpegeln (s. o.) wird auch am Pegel Kaub und damit an den Rheinpegeln insgesamt eine Stationarität angenommen.

Am Donaupegel Hofkirchen (Abbildung A2-20) ergab sich für die Serien 1961/2018, ähnlich wie an dem ebenfalls alpin beeinflussten Rheinpegel Maxau, ebenfalls bei keiner der analysierten Kenngrößen ein signifikanter Trend.

Eine pegelübergreifende Gesamtbewertung dieser Befunde und Rückschlüsse bzgl. der weiteren Vorgehensweise bei der Entwicklung von Extremwertstatistiken für die untersuchten Serien finden sich im Kapitel 3.3.

A2-3 Anpassung und Diagnose theoretischer Verteilungsfunktionen an die Serien 1961/2018 von Niedrigwasserkenngößen an ausgewählten Flusspegeln (Bezug: Kapitel 3.4)

Im Zusammenhang mit Kapitel 3.4 wurden theoretische Verteilungsfunktionen ausgewählt und an die Serien der Niedrigwasserkenngößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) von acht analysierten Pegeln angepasst und diagnostiziert. Dort wird dies exemplarisch für den Rheinpegel Maxau dargestellt. Die vorliegende Anlage dokumentiert ergänzend die entsprechende Auswahl, Anpassung und Diagnose theoretischer Verteilungsfunktionen für die Serien der weiteren in dieser Studie analysierten Pegel. Sie beinhaltet:

- > Die Abbildungen A2-21 bis A2-28 mit Wahrscheinlichkeitsdiagrammen pro Pegel und Kenngröße mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) der analysierten Serien 1961/2018 und der Referenzserien (s. Kapitel 3.4), sowie den jeweils ausgewählten und angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit ihren Konfidenzgrenzen. Für Bezeichnungen der Verteilungsfunktionen s. Kapitel 3.4. Q15 und Q30 sind die Quantile der täglichen Abflussreihe der Wasserhaushaltsjahre 1961/2018 mit den relativen Unterschreitungshäufigkeiten von 15 % und 30 %.
- > Pegelweise diagnostische Ansprachen der ausgewählten und angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen.

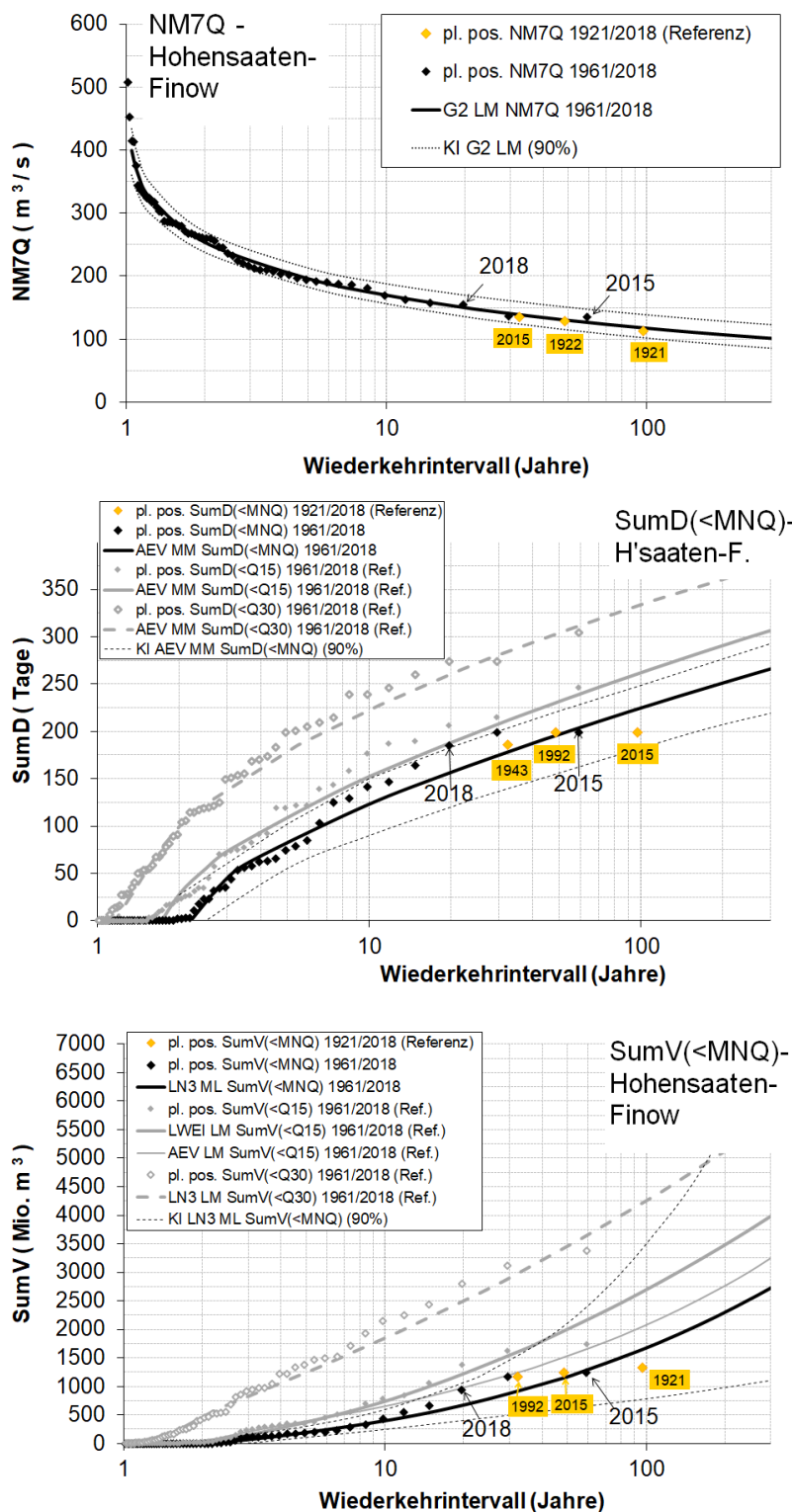


Abbildung A2-21: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Hohensaaten-Finow/Oder mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI. Bei der Auswahl dieser für die Serien SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) wurden auch die Referenzverteilungen der Kenngrößen SumD(<Q15) und SumD(<Q30) bzw. SumV(<Q15) und SumV(<Q30) berücksichtigt.

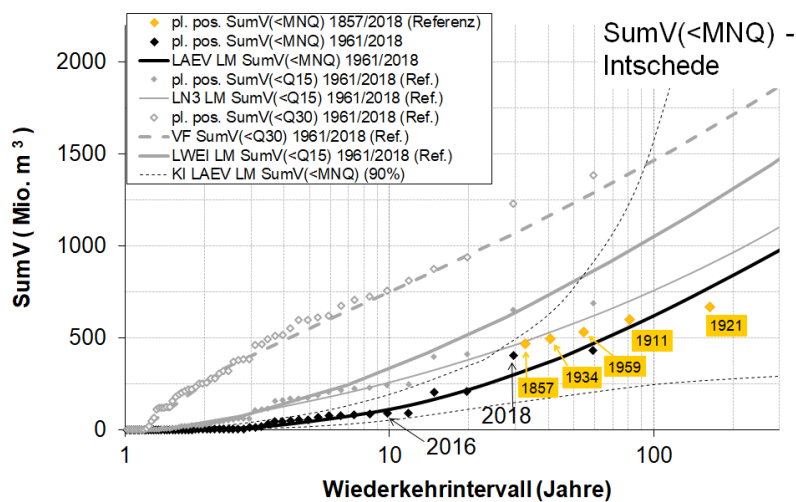
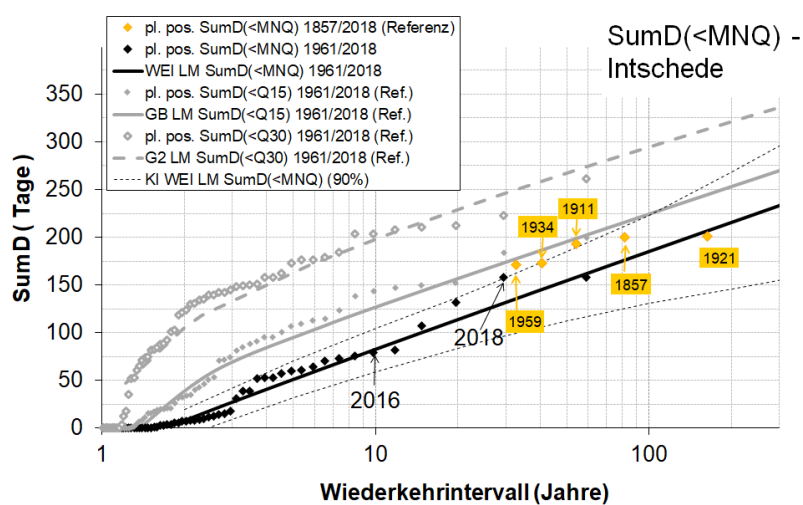
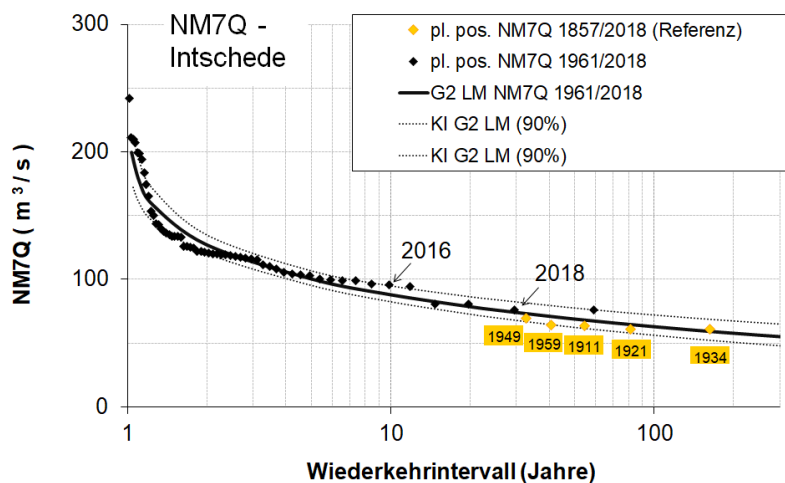


Abbildung A2-22: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Intschede/Weser mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI. Bei der Auswahl dieser für die Serien SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) wurden auch die Referenzverteilungen der Kenngrößen SumD(<Q15) und SumD(<Q30) bzw. SumV(<Q15) und SumV(<Q30) berücksichtigt.

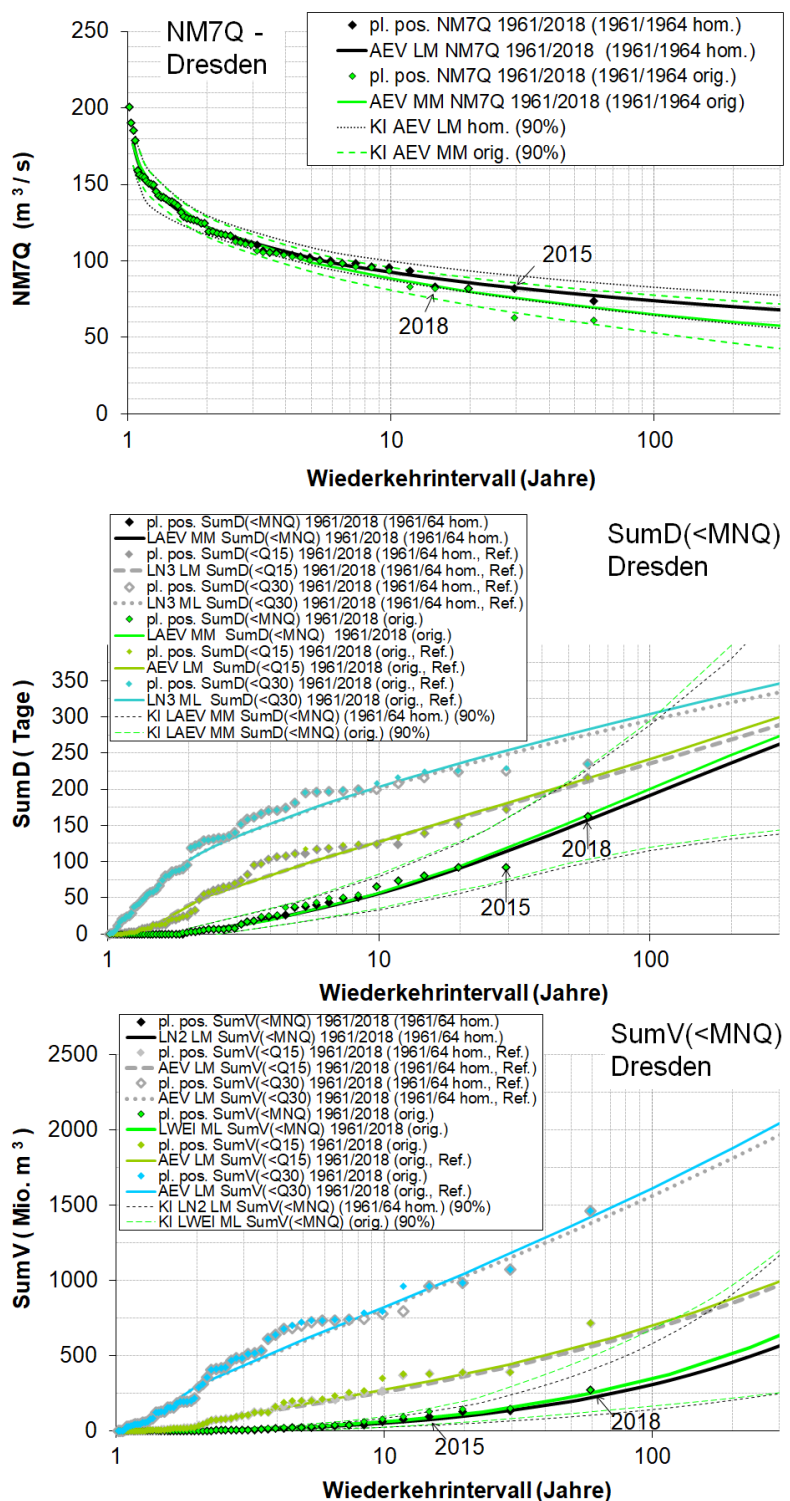


Abbildung A2-23: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Dresden/Elbe mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien und angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI. Bei der Auswahl dieser für die Serien SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) wurden auch die Referenzverteilungen der Kenngrößen SumD(<Q15) und SumD(<Q30) bzw. SumV(<Q15) und SumV(<Q30) berücksichtigt. Es werden zwei Varianten dargestellt: 1. mit Berücksichtigung einer Homogenisierung in den Wasserhaushaltsjahren 1961/1964; 2. ohne Homogenisierung (Originaldaten).

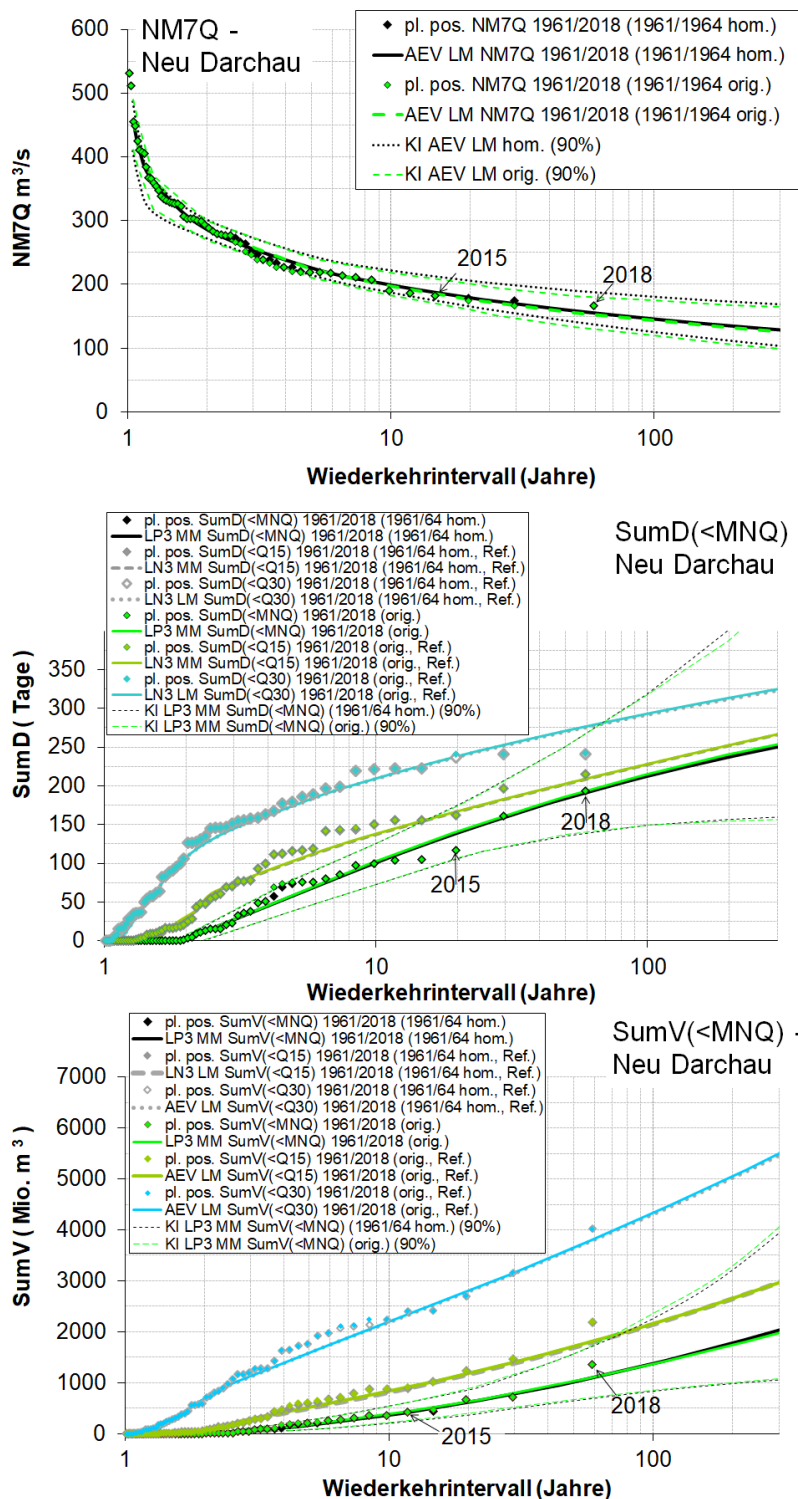


Abbildung A2-24: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Neu Darchau/Elbe mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien und angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI. Bei der Auswahl dieser für die Serien SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) wurden auch die Referenzverteilungen der Kenngrößen SumD(<Q15) und SumD(<Q30) bzw. SumV(<Q15) und SumV(<Q30) berücksichtigt. Es werden zwei Varianten dargestellt: 1. mit Berücksichtigung einer Homogenisierung in den Wasserhaushaltsjahren 1961/1964; 2. ohne Homogenisierung (Originaldaten).

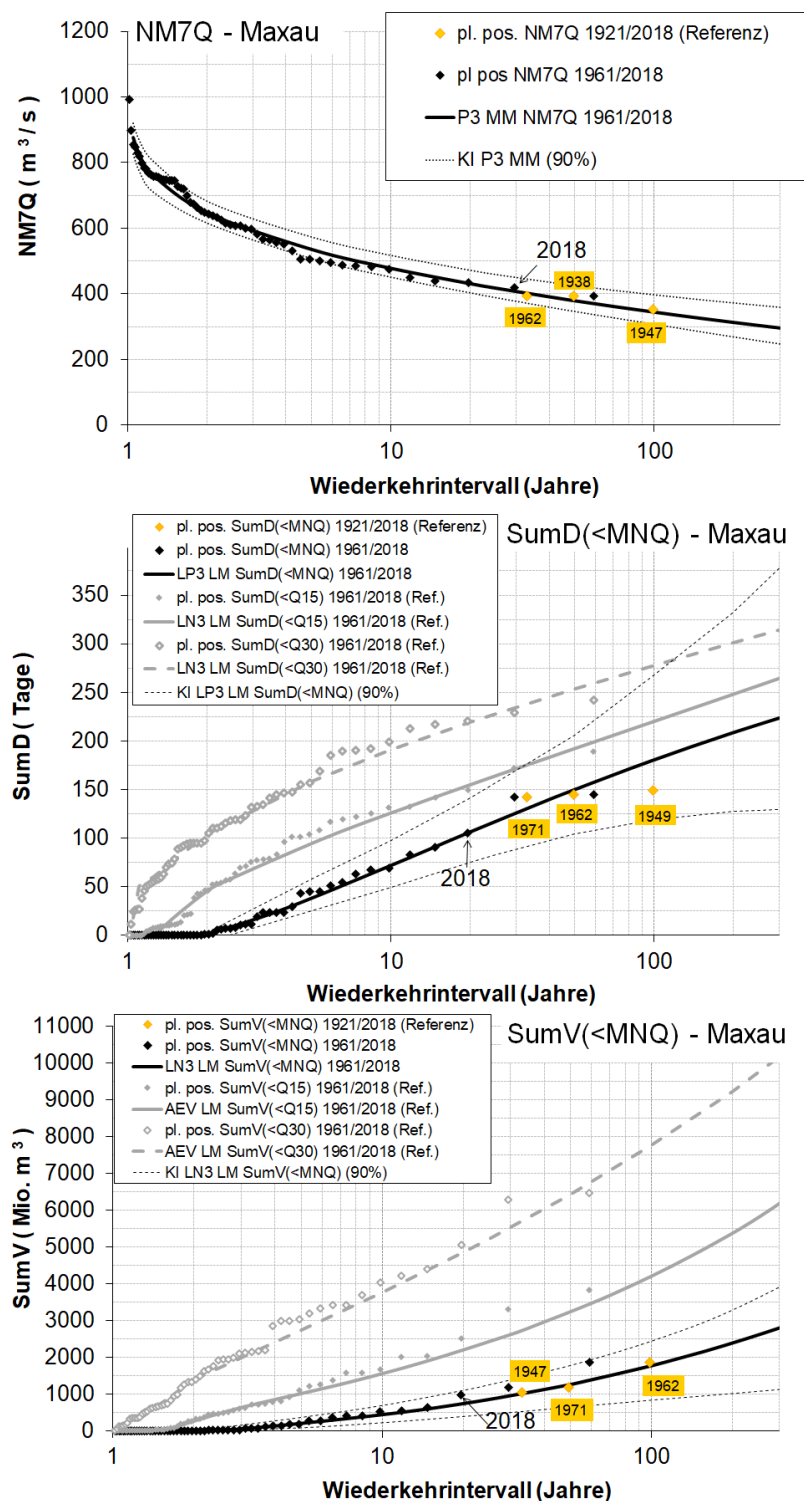


Abbildung A2-25: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Maxau/Rhein mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI. Bei der Auswahl dieser für die Serien SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) wurden auch die Referenzverteilungen der Kenngrößen SumD(<Q15) und SumD(<Q30) bzw. SumV(<Q15) und SumV(<Q30) berücksichtigt.

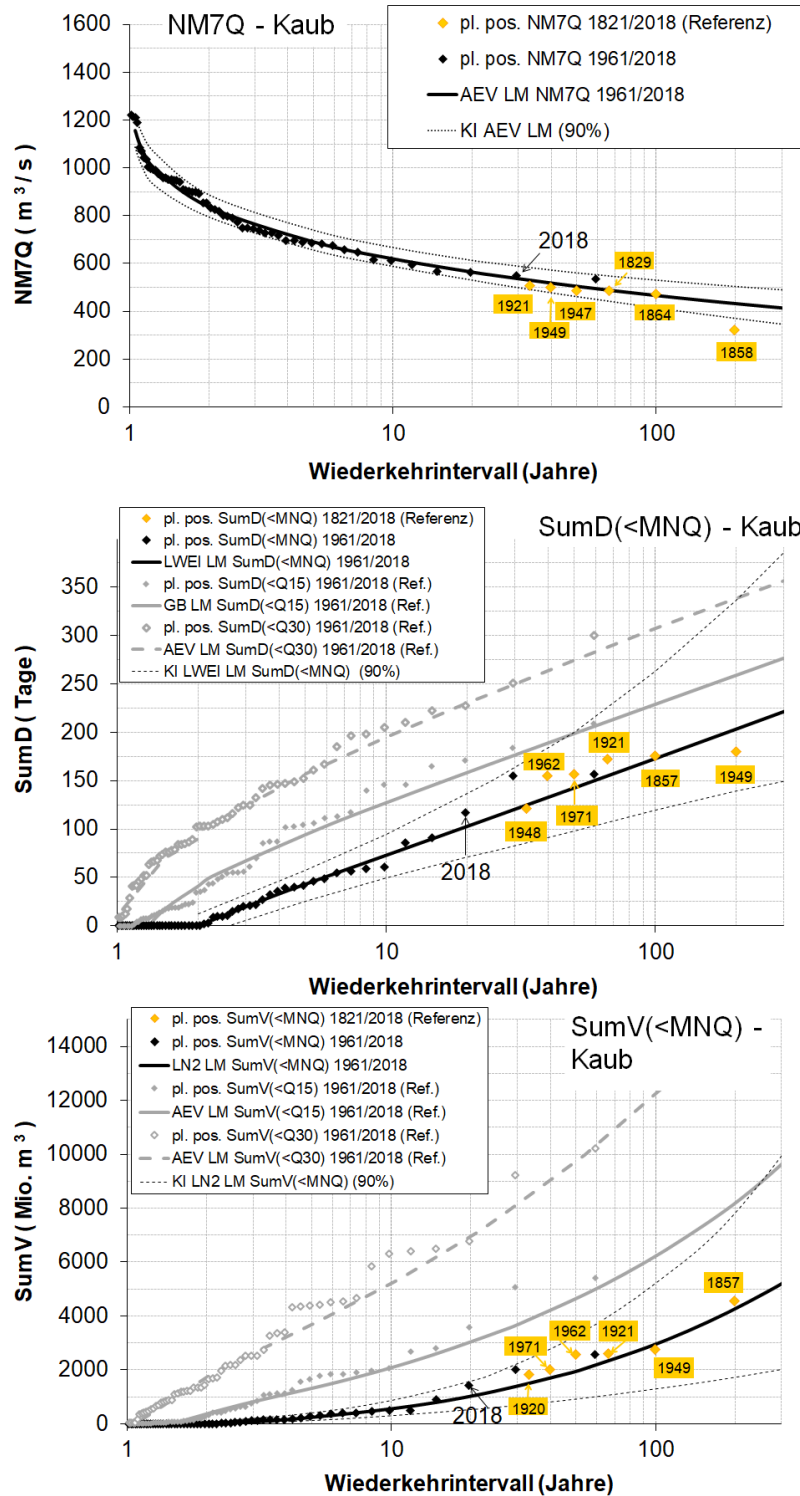


Abbildung A2-26: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) von 1961/2018 am Pegel Kaub/Rhein mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI. Bei der Auswahl dieser für die Serien SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) wurden auch die Referenzverteilungen der Kenngrößen SumD(<Q15) und SumD(<Q30) bzw. SumV(<Q15) und SumV(<Q30) berücksichtigt.

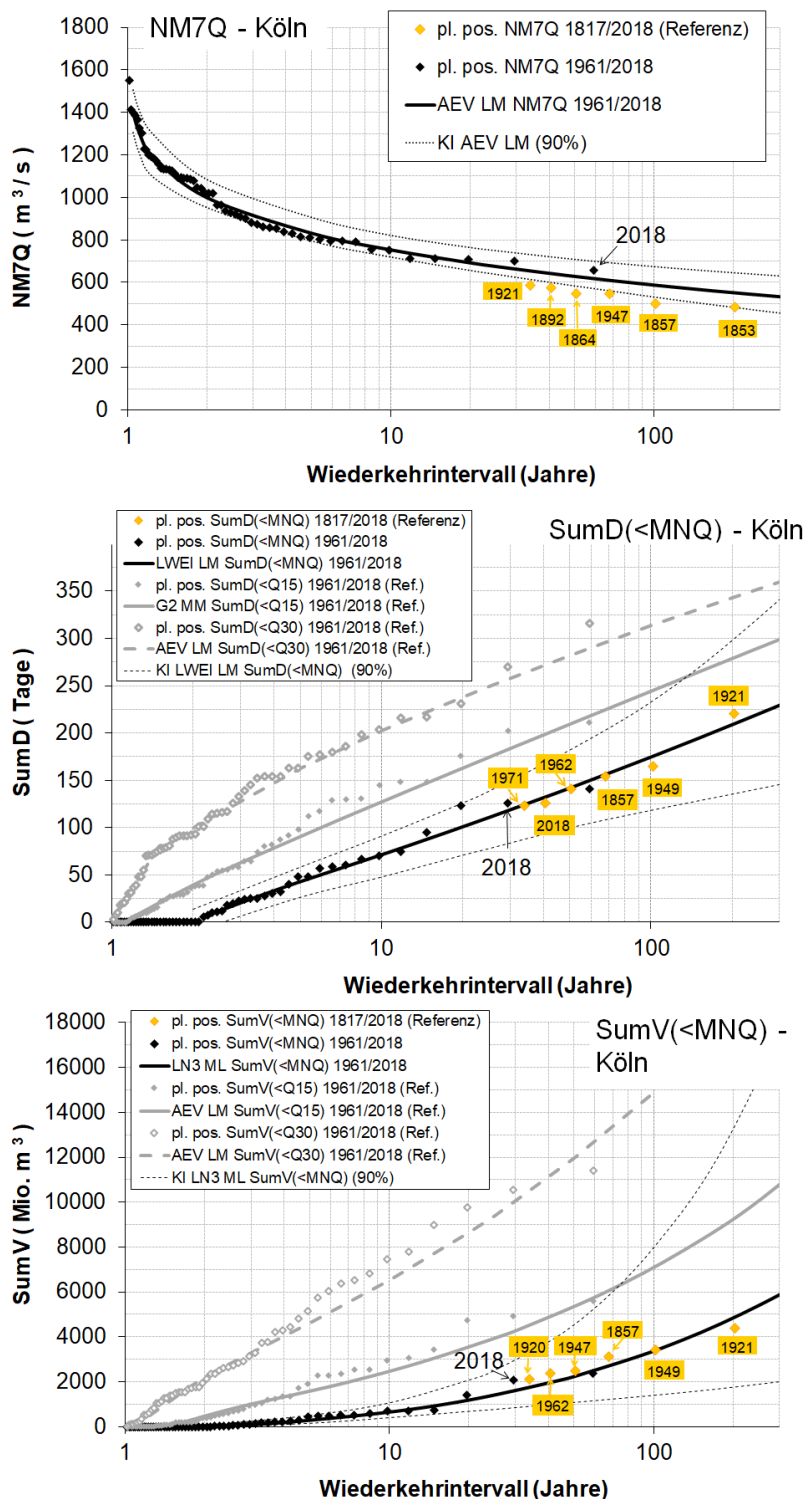


Abbildung A2-27: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Köln/Rhein mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI. Bei der Auswahl dieser für die Serien SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) wurden auch die Referenzverteilungen der Kenngrößen SumD(<Q15) und SumD(<Q30) bzw. SumV(<Q15) und SumV(<Q30) berücksichtigt.

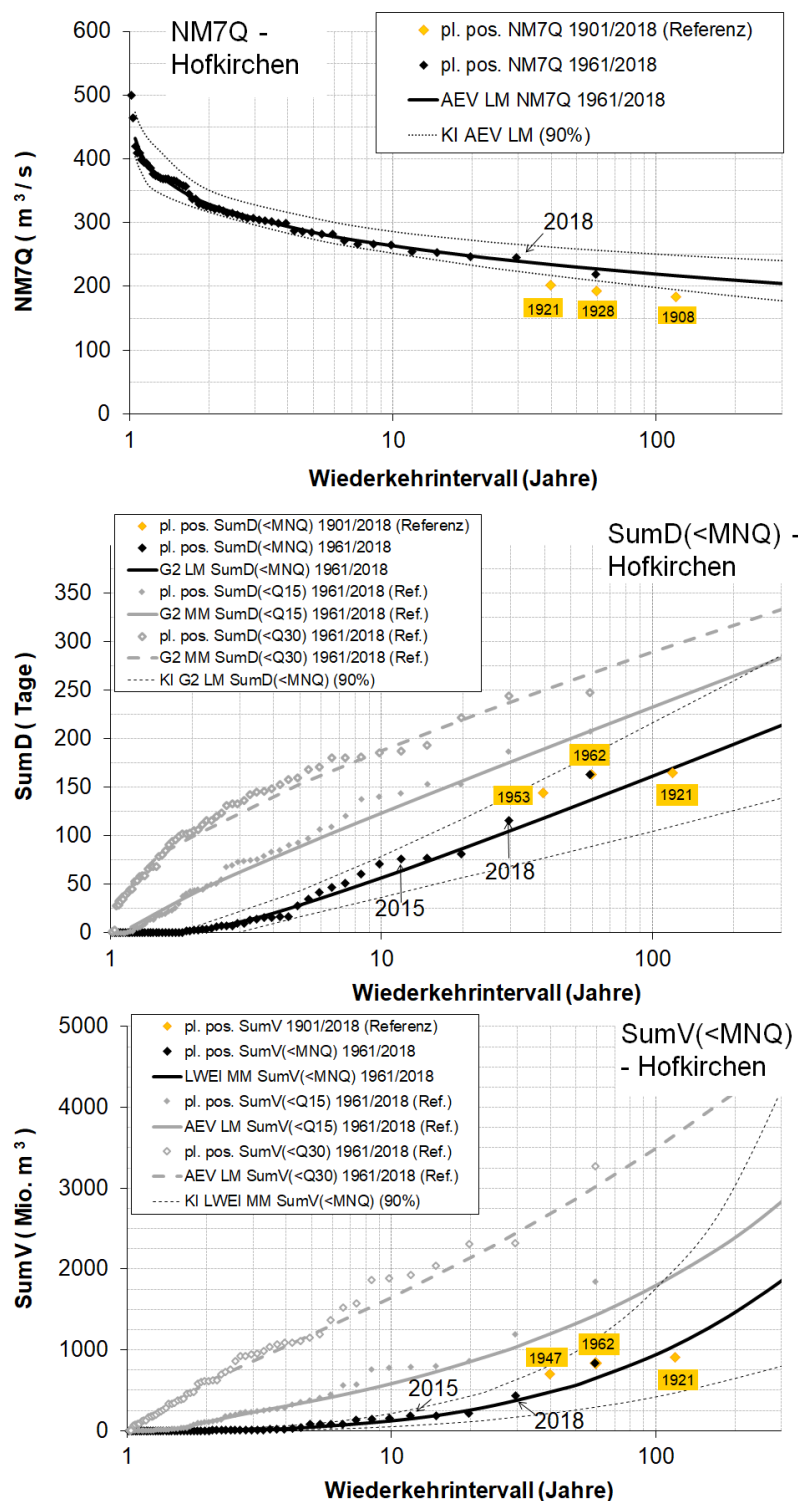


Abbildung A2-28: Wahrscheinlichkeitsdiagramme für die Serien der Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) von 1961/2018 am Pegel Hofkirchen/Donau mit empirischen Wahrscheinlichkeiten (plotting positions) dieser Serien, plotting positions langer Referenzserien (nur für Wiederkehrintervalle >30 Jahre, mit Angabe der Wasserhaushaltsjahre) und an die Serien von 1961/2018 angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen mit Konfidenzintervallen KI. Bei der Auswahl dieser für die Serien SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) wurden auch die Referenzverteilungen der Kenngrößen SumD(<Q15) und SumD(<Q30) bzw. SumV(<Q15) und SumV(<Q30) berücksichtigt.

Pegelweise diagnostische Ansprache der ausgewählten und angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen

Am **Oderpegel Hohensaaten-Finow** repräsentiert die ausgewählte theoretische Verteilungsfunktion (tVF) G2 LM die Verteilung der plotting positions (PP) der NM7Q 1961/2018 sehr gut. Im Extrapolationsbereich wird sie ferner gestützt durch die PP der langen Referenzserie (Abbildung A2-21). Die beiden historischen Referenzereignisse vom September 1921 und vom Juli 1922 waren hinsichtlich einer möglichen Abhängigkeit neben ihrem zeitlichen Abstand zumindest durch ein Abflussereignis getrennt, das im März 1922 einen Scheitel des ca. 1,7fachen des mittleren jährlichen Abflusses erreichte.

Die Auswahl der für die Serie SumD(<MNQ) 1961/2018 am Oderpegel Hohensaaten-Finow angepassten AEV MM erfolgte insbesondere unter Berücksichtigung der langen Referenzserie und der Serien 1961/2018 für die Referenzkenngrößen SumD(<Q15) und SumD(<Q30). Das Niveau der AEV MM liegt zwar niedriger als dasjenige mehrerer PP im Bereich höherer SumD(<MNQ), eine an diesen orientierte Auswahl der tVF für SumD(<MNQ) würde jedoch zu einer starken Konvergenz mit der für SumD(<Q15) angepassten tVF führen und die extremen Werte der langen Referenzserie (einschließlich der Jahre 2015 und 1992) überschätzen (Abbildung A2-21). Durch die AEV MM werden diese extremen PP hingegen gut repräsentiert.

Für die Auswahl der an die Serie SumV(<MNQ) 1961/2018 des Pegels Hohensaaten-Finow angepassten LN3 ML lässt sich im Prinzip ähnlich argumentieren. Allerdings ist hier eine Unsicherheit bzgl. der Verteilung der SumV(Q15) gegeben. Zwischen den in Abbildung A2-21 eingezeichneten tVF (LWEI LM und AEV LM) war keine tVF mit einem mittleren Verlauf verfügbar, sie wäre jedoch plausibler. Wird eine solche tVF angenommen, bestätigt sie, wie auch die extremen PP der langen Referenzserie, die Auswahl der LN3 ML für die Serie SumV(<MNQ) 1961/2018.

Am **Weserpegel Intschede** wurde für die Serie der NM7Q 1961/2018, wie am Pegel Hohensaaten-Finow, ebenfalls die G2 LM ausgewählt. Sie repräsentiert die Verteilung der meisten PP gut, unterschätzt aber den kleinsten Wert aus dem Jahr 1976 (mit ähnlichem NM7Q wie im Jahr 2018 (Abbildung A2-22)). Für das gegenüber NM7Q 1976 geringere Niveau der G2 LM sprechen allerdings die PP mehrerer extremer Herbstereignisse vor 1961 aus der langen Referenzserie, wobei hinsichtlich der Vergleichbarkeit mit heutigen Bedingungen angenommen wird, dass ein Talsperreneinfluss bei solchen Extremereignissen nur noch gering ist. Zudem waren bei den Ereignissen mit den kleinsten NM7Q (aus den Jahren 1921 und 1934) bereits wichtige Talsperren in Betrieb (Edertalsperre, sowie im Jahr 1934 auch die Söse-, Oder- und Diemeltalsperren).

Die Auswahl der für die Serie SumD(<MNQ) 1961/2018 am Pegel Intschede angepassten WEI LM erfolgte nach einer ähnlichen Argumentation wie am Oderpegel Hohensaaten-Finow. Damit werden die extremen PP der Serie 1961/2018 (aus dem Jahr 1976) und der langen Referenzserie (aus den Jahren 1857 und 1921) gut repräsentiert und eine zu starke Konvergenz mit der für die im Extrembereich weniger streuenden Serie SumD(<Q15) angepassten GB LM vermieden. Beides würde nicht erreicht, wenn sich die Auswahl der tVF eher an den nächstgrößeren PP (aus den Jahren 2018 und 1964 bzw. 1959, 1934 und 1911) orientiert.

Bei den historischen Referenzwerten ist dabei auch zu berücksichtigen, dass ihre SumD(<MNQ) bei heutiger Talsperrenwirkung und ggf. noch verfügbaren Wasserressourcen eher geringer ausgefallen wären.

Auch bei der Auswahl der an die Serie SumV(<MNQ) 1961/2018 des Pegels Intschede angepassten LAEV lässt sich ähnlich argumentieren wie am Oderpegel Hohensaaten-Finow. Neben den PP der SumV(<MNQ) 1961/2018 werden hiermit auch die zwei PP mit den größten SumV(<MNQ) der langen Referenzserie (aus den Jahren 1911 und 1921) gut repräsentiert und eine zu starke Konvergenz mit den für die Referenzserie SumV(<Q15) 1961/2018 gewählten tVF (bzw. einem angenommenen mittleren Verlauf zwischen diesen) vermieden.

An den **Elbepegeln Dresden und Neu Darchau** wurde wie überwiegend an den Pegeln von Rhein und Donau (s. u.) die AEV LM ausgewählt, um sie an die für 1961/1964 bzgl. der Talsperrenwirkung homogenisierten NM7Q-Serien 1961/2018 anzupassen (Abbildungen A2-23 und A2-24). Auch hier zeigen sich gute Entsprechungen zu den PP dieser Serien. Lange NM7Q-Referenzserien hatten an diesen Pegeln keine Aussagekraft wie an den anderen untersuchten Pegeln, da sie aufgrund der in Betrieb genommenen Talsperren im Einzugsgebiet zu starke Inhomogenitäten aufweisen (s. Kapitel 2.4.1 und 3.1 sowie Anlage 2, Abbildung A2-3). Ohne die angesprochene Homogenisierung 1961/1964 zeigte sich am Pegel Neu Darchau eine sehr ähnliche Situation, so dass die hierfür ebenfalls gewählte AEV LM nahezu identisch ist wie in der homogenisierten Variante (Abbildung A2-24). Wie bereits in Kapitel 1 und Anlage 2 erörtert, fallen die Unterschiede zwischen der originalen und der homogenisierten Variante am Pegel Dresden besonders bei den NM7Q der Jahre 1963 und 1964 viel deutlicher aus. So fallen die PP dieser Jahre ohne Homogenisierung gegenüber der sonstigen Verteilung sehr klein aus und liegen außerhalb des Konfidenzintervalls der für die homogenisierte Serie angepassten AEV LM (Abbildung A2-23). Es ergibt sich ein deutlicher Unterschied zwischen der an die Serie der Originalwerte angepassten AEV MM und der an die homogenisierte Serie angepassten AEV LM, der insbesondere im Extrembereich zunimmt. Dabei weist die an die Serie ohne Homogenisierung angepasste AEV MM eine höhere Unsicherheit im Extrembereich auf, wie die Streuung der PP um die AEV MM sowie auch die vergleichsweise großen Konfidenzintervalle erkennen lassen (Abbildung A2-24). Insgesamt spricht diese Diagnose für die Bevorzugung der homogenisierten Variante am Pegel Dresden, und damit im Sinne einer Gleichbehandlung auch am Pegel Neu Darchau.

Die an die SumD(<MNQ)-Serien 1961/2018 der Elbepegel angepassten tVF weisen im Vergleich mit den anderen Pegeln eine stärkere Konvergenz mit den an die Referenzserien SumD(<Q15) und SumD(<Q30) angepassten tVF auf (Abbildungen A2-23 und A2-24). Dabei ist zu beachten, dass bereits die PP zum extremen Bereich hin eine Konvergenz zeigen. Durch die Wahl der LAEV für SumD(<MNQ) am Pegel Dresden und der LP3 für SumD(<MNQ) am Pegel Neu Darchau konnten sich kreuzende Verläufe bzw. stärker konvergierende Verläufe mit den für SumD(<Q15) angepassten tVF vermieden werden, auch bei höheren Wiederkehrintervallen bis zu 1000 Jahren (in Abbildungen A2-23 und A2-24 nicht gezeigt). Als Grund für die angesprochene Konvergenz ist der im Elbeeinzugsgebiet relativ starke Talsperreneinfluss anzunehmen, der SumD(<MNQ) durch seine ausgleichende Wirkung bis zu einem gewissen Grad relativ gering halten kann, bevor sich diese Wirkung bei extremeren Ereignissen abschwächt und die SumD(<MNQ) entsprechend zunehmen. Mit diesen Verläufen erreichen die angepassten tVF eine gute Entsprechung zu den Verteilungen der

PP. Im Vergleich der Varianten mit und ohne Homogenisierung in den Jahren 1961/1964 ergeben sich bei dieser Kenngröße auch am Pegel Dresden nur relativ geringe Unterschiede. Da die homogenisierte Variante eine schwächere Konvergenz mit den tVF der Referenzserien zeigt, ist sie etwas plausibler.

Die Serien der SumV-Kenngrößen der Pegel Dresden und Neu Darchau und die an sie angepassten tVF sind offensichtlich weniger von dem angesprochenen Konvergenzproblem betroffen (Abbildungen A2-23 und A2-24). Die an die Serie SumV(<MNQ) angepassten tVF ergeben jeweils eine gute Anpassung an fast alle PP. Zudem sind die Verläufe dieser tVF gegenüber den Verteilungen für SumV (<Q30) und v. a. für SumV(<Q15) plausibel. Die tVF liegen jedoch insbesondere am Pegel Neu Darchau unter dem SumV-Niveau der PP des Jahres 2018, da jeweils keine insgesamt plausible tVF verfügbar war, die auch diese besser repräsentieren. Hieraus resultiert eine Unsicherheit bei der Zuordnung einer Auftretenswahrscheinlichkeit zu den SumV(<MNQ) dieses Jahres (s. auch Anlage A2-4). Auch bei SumV(<MNQ) ist der Unterschied zwischen den Varianten mit und ohne Homogenisierung in den Jahren 1961/1964 nur am Pegel Dresden erwähnenswert. Hier ergibt sich eine gewisse, aber begrenzte Unsicherheit bei der Zuordnung eines Wiederkehrintervalls zu SumV(<MNQ) des Jahres 2018 (vgl. Anlage A2-4).

Für die NM7Q-Serien 1961/2018 der analysierten **Rheinpegel** führten die ausgewählten tVF (P3 MM bzw. AEV LM) zu einer insgesamt guten Übereinstimmung mit den PP dieser Serien (Abbildungen A2-25 bis A2-27).

Im Bereich der ein bis zwei kleinsten Werte der Serien liegt ihr NM7Q-Niveau jeweils etwas unterhalb der PP 1961/2018, wofür die extremen PP der langen Referenzserien sprechen. Bei den Ereignissen des 19. Jahrhunderts sind dabei insbesondere am Pegel Köln und im Wasserhaushaltsjahr 1857 am Pegel Kaub Datenunsicherheiten und veränderliche hydrologische Bedingungen zu berücksichtigen. Jedoch ergeben sich auch etwa bei einem Bezug auf die Ereignisse ab 1921 (Beginn der Referenzserie Maxau) plausible Verläufe der ausgewählten tVF. Dabei handelt es sich bei den Ereignissen ab 1921 um Herbstereignisse (Ausnahme Ende Dezember 1938 am Pegel Maxau), wie sie auch unter heutigen Bedingungen auftreten. Für die statistische Einordnung der NM7Q 2015/2018 hat die Wahl der P3 MM bzw. AEV LM gegenüber der sonst häufig für NM7Q-Serien bevorzugten WEI an allen drei Rheinpegeln keine wesentliche Auswirkung.

Auch bei den Kenngrößen SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Rheinpegel waren die PP der langen Referenzserien hilfreich, da die jeweils größten drei Werte der Serien 1961/2018 Streueffekte zeigen und entsprechende Unsicherheiten bzgl. der Wahl einer geeigneten tVF und ihrer Extrapolationseigenschaften bedingen (Abbildungen A2-25 bis A2-27). Die Kenngrößen der als Referenz hinzugezogenen Jahre der langen Referenzserie resultieren teilweise aus MNQ-Unterschreitungen bis in den Winter, was jedoch in den Jahren 1962 und 1971 (MNQ-Unterschreitung bis März) auch der Fall war. Mit den heute wirksamen Speichurmaßnahmen (s. Kapitel 2.1.5) und ggf. noch verfügbaren Ressourcen ist zudem von einem stärkeren Ausgleichseffekt auszugehen, so dass die historischen SumD(<MNQ) eher höher als unter heutigen Bedingungen ausgefallen sein dürften. Diese Argumentation unterstützt die Wahl der jeweiligen tVF, die im Extrembereich zum Teil kleinere Werte annehmen als die extremen Jahre der Serien 1961/2018. Die unter Berücksichtigung der PP der langen Serien gewählten und an die Serien 1961/2018 angepassten tVF zeigen dabei auch gegenüber den

Referenzserien SumD(<Q15 bzw. <Q30) und SumV(<Q15 bzw. <Q30) 1961/2018 jeweils einen plausiblen Verlauf im Wahrscheinlichkeitsdiagramm.

Am **Donaupiegel Hofkirchen** wurde, wie überwiegend am Rhein, ebenfalls die AEV LM zur Anpassung an die Serie NM7Q 1961/2018 gewählt (Abbildung A2-28). Gegenüber den PP 1961/2018 zeigt sie eine sehr gute Entsprechung. Im Vergleich zu den extremen PP der langen Referenzserie, die aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts stammen, liegt sie allerdings höher. Bei den Ereignissen von 1908 und 1928 handelt es sich um winterliche Ereignisse, bei denen die Ganglinien zudem auf eisbedingte, abflussmindernde Effekte hindeuten. Unter der Annahme, dass das herbstliche Ereignis 1921 dementsprechend den kleinsten NM7Q der langen Referenzserie darstellt, liegt auch dieser (bei entsprechend angepasster PP) unterhalb der gewählten AEV LM. Dieser Unterschied kann in seiner Größenordnung dadurch erklärt werden, dass der Sylvensteinspeicher zum Zeitpunkt dieses Ereignisses noch nicht in Betrieb war (vgl. Kapitel 2.1.6). Die an die Serie 1961/2018 angepasste AEV LM ist damit auch gegenüber den extremen NM7Q der langen Referenzserie plausibel, im Gegensatz zu der für NM7Q sonst häufig bevorzugten WEI (in Abbildung A2-28 nicht enthalten). Für die statistische Einordnung der NM7Q 2015-2018 spielt dieser Vorzug gegenüber der WEI jedoch kaum eine Rolle.

Bei den Kenngrößen SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) des Pegels Hofkirchen liegen die Werte eines Jahres (Wasserhaushaltsjahr 1962, in dem sich die Niedrigwasserlage bis in den März erstreckte) deutlich über den anderen Werten der Serie 1961/2018 (Abbildung A2-28). Die anderen extremen PP der langen Referenzserie zeigen hier Ausprägungen in ähnlicher Größenordnung, auch wenn sie weniger weit in den Winter hineinreichen. Sie unterstützen damit bei SumV(<MNQ) die Wahl einer tVF mit im Extrapolationsbereich verstärkt ansteigenden Werten (LWEI MM). Diese wird ferner v. a. durch die Verteilung der Referenzserie SumV(<Q15) unterstützt. Auch bei SumD(<MNQ) ist die gewählte tVF (G2 LM) gegenüber den Referenzserien plausibel.

A2-4 Einordnung der Niedrigwasserkenngößen der Wasserhaushaltsjahre 2015 bis 2018 an ausgewählten Flusspegeln bzgl. ihrer Auftretenswahrscheinlichkeiten (Bezug: Kapitel 3.4)

Im Zusammenhang mit Kapitel 3.4 wurden die an die Serien 1961/2018 der Niedrigwasserkenngößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) angepassten theoretischen Verteilungsfunktionen dazu genutzt, Quantile für ausgewählte Auftretenswahrscheinlichkeiten bzw. für die Wiederkehrintervalle $T = 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100$ und 200 Jahre zu berechnen. Dabei wurden pro Quantil auch Konfidenzgrenzen für eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von 0,9 berechnet, die in dieser Anlage dokumentiert werden. Die berechneten Quantile werden weitergehend dazu genutzt, um die in den Jahren 2015 bis 2018 an den untersuchten Pegeln aufgetretenen Niedrigwasserkenngößen nach ihrer Zugehörigkeit zu Klassen ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit zuzuordnen und im Überblick zu visualisieren. Dies erfolgte im Kapitel 3.4 exemplarisch für den Rheinpegel Maxau. Die vorliegende Anlage dokumentiert ergänzend die entsprechende Visualisierung und Zuordnung an den anderen in dieser Studie analysierten Pegel. Die Anlage beinhaltet:

- > Tabelle A2.1 bis Tabelle A2.3: Zusammenstellung der für die analysierten Pegel und Niedrigwasserkenngößen angepassten Verteilungsfunktionen sowie der damit ermittelten Quantile (mit Wiederkehrintervall von T Jahren) und deren Konfidenzgrenzen. Entsprechend zu Tabelle 3.5 bis Tabelle 3.7 im Hauptteil, hier jedoch ergänzt um Angaben zu den berechneten Konfidenzgrenzen
- > Abbildungen A2-29 bis A2-38 mit Säulendiagrammen der pegelbezogenen Niedrigwasserkenngößen 2015/2018 im Vergleich mit ihren Quantilsklassen aus den Niedrigwasserstatistiken (angepassten Verteilungsfunktionen)
- > Pegelbezogene Ansprache der Zuordnungen der Niedrigwasserkenngößen 2015/2018 zu den Quantilsklassen bzw. zu entsprechenden Wiederkehrintervallen

Tabelle A2.1: Zusammenstellung der für die analysierten Pegel und Kenngrößen NM7Q angepassten Verteilungsfunktionen sowie der damit ermittelten Quantile (mit Wiederkehrintervall von T Jahren) und Grenzen ihrer Konfidenzintervalle KI mit Vertrauenswahrscheinlichkeit 0,9. Zum Vergleich werden die in den Wasserhaushaltsjahren 2015/2018 aufgetretenen Kenngrößen aufgelistet. Die Angaben für Dresden und Neu Darchau beziehen sich auf Varianten mit (ohne) Homogenisierung für die Jahre 1961/1964.

Kenngröße	tVF	Hohensaaten- Finow (Oder)	Intschede (Weser)	Dresden (Elbe)	Neu Dar- chau (Elbe)	Maxau (Rhein)	Kaub (Rhein)	Köln (Rhein)	Hofkirchen (Donau)
NM7Q [m³/s]	KI 0,05	239	G2 LM	AEV LM (AEV MM)	AEV LM (AEV LM)	P3 MM	AEV LM	AEV LM	AEV LM
	tVF	254	127	122 (122)	286 (285)	648	837	999	329
	KI 0,95	271	135	130(129)	303(300)	682	887	1084	351
	KI 0,05	183	95,4	97,2 (93,0)	215 (211)	507	656	795	274
	tVF	196	101	102 (99,1)	226 (224)	536	691	831	285
	KI 0,95	213	107	108 (106)	245 (241)	572	740	905	307
	KI 0,05	157	82,6	87,3 (81,1)	187 (183)	450	589	719	253
	tVF	170	88,2	92,4 (88,3)	199 (197)	479	620	752	264
	KI 0,95	188	95,1	99,7 (96,0)	222 (218)	516	668	821	286
	KI 0,05	136	72,9	79,3 (71,2)	166 (160)	402	531	656	234
	tVF	150	78,8	85,5 (79,9)	179 (177)	432	564	692	248
	KI 0,95	170	86,6	93,2 (89,2)	206 (201)	471	614	763	272
	KI 0,05	131	70,1	76,9 (68,4)	159 (152)	388	513	638	228
	tVF	145	76,3	83,6 (77,5)	174 (171)	418	549	674	243
	KI 0,95	165	84,3	91,4 (87,2)	202 (195)	458	600	749	268
	KI 0,05	115	62,5	70,3 (60,5)	141 (133)	345	462	583	213
	tVF	130	69,1	78,3 (70,9)	159 (156)	379	505	627	231
2015	KI 0,95	150	77,8	86,6 (82,2)	191 (182)	424	562	708	259
	KI 0,05	102	56,4	64,3 (53,3)	125 (120)	307	415	531	199
	tVF	117	63,2	73,8 (65,3)	146 (143)	345	466	586	220
	KI 0,95	139	72,3	82,6 (77,9)	181 (176)	396	531	673	251
	KI 0,05	91,7	50,9	58,8 (46,5)	111 (105)	268	372	482	185
	tVF	107	58,0	69,9 (60,3)	135 (132)	314	432	550	210
	KI 0,95	128	67,7	79,2 (74,1)	173 (167)	371	505	645	244
	2015	135	104	81,7	182	499	675	792	272
	2016	190	95,9	106	218	475	687	839	300
	2017	272	116	105	267	719	960	1137	307
	2018	154	75,9	82,8	166	418	548	656	245

Tabelle A2.2: Zusammenstellung der für die analysierten Pegel und Kenngrößen SumD(<MNQ) angepassten Verteilungsfunktionen sowie der damit ermittelten Quantile (mit Wiederkehrintervall von T Jahren) und Grenzen ihrer Konfidenzintervalle KI mit Vertrauenswahrscheinlichkeit 0,9. Zum Vergleich werden die in den Wasserhaushaltsjahren 2015/2018 aufgetretenen Kenngrößen aufgelistet. Die Angaben für Dresden und Neu Darchau beziehen sich auf Varianten mit (ohne) Homogenisierung für die Jahre 1961/1964.

Kenngröße	Hohensaaten- Finow (Oder)	Intschede (Weser)	Dresden (Elbe)	Neu Darchau (Elbe)	Maxau (Rhein)	Kaub (Rhein)	Köln (Rhein)	Hofkirchen (Donau)
tVF	AEV MM	WEI LM	LAEV MM (LAEV MM)	LP3 MM (LP3 MM)	LP3 LM	LWEI LM	LWEI LM	G2 LM
p₀ *	0,48	0,35	0,48 (0,48)	0,48 (0,48)	0,48	0,52	0,53	0,47
	0	0	0 (0)	0 (0)	1	0	0	0
T=2 J.	0	8	2 (2)	0 (0)	1	0	0	1
	KI 0,05	tVF						
	27	20	7 (7)	7 (7)	3	13	13	6
	KI 0,95							
T=5 J.	55	32	16 (16)	39 (39)	25	26	27	16
	KI 0,05	tVF						
	84	51	28 (27)	59 (59)	39	43	42	28
	KI 0,95							
	109	71	44 (45)	79 (81)	58	58	58	44
T=10 J.	90	59	34 (35)	73 (73)	49	50	48	36
	KI 0,05	tVF						
	123	83	56 (57)	101 (103)	72	73	71	57
	KI 0,95							
	150	104	79 (82)	125 (126)	98	95	91	78
T=20 J.	120	83	56 (60)	107 (107)	75	71	71	57
	KI 0,05	tVF						
	157	114	91 (94)	140 (142)	106	103	101	87
	KI 0,95							
	183	137	125 (127)	175 (174)	141	136	126	117
T=25 J.	129	91	65 (68)	116 (115)	83	77	78	63
	KI 0,05	tVF						
	167	124	104 (108)	151 (153)	117	112	110	97
	KI 0,95							
	193	148	144 (144)	192 (192)	157	151	138	130
T=50 J.	156	112	94 (97)	135 (137)	104	98	100	84
	KI 0,05	tVF						
	197	155	147 (153)	184 (187)	150	142	142	129
	KI 0,95							
	221	185	209 (211)	250 (251)	206	200	182	172
T=100 J.	182	131	115 (120)	149 (149)	119	120	118	105
	KI 0,05	tVF						
	225	185	192 (200)	213 (215)	181	173	174	161
	KI 0,95							
	248	223	288 (294)	319 (317)	267	262	232	216
T=200 J.	207	146	131 (136)	156 (155)	127	139	135	126
	KI 0,05	tVF						
	251	216	237 (247)	237 (240)	208	203	208	194
	KI 0,95							
	276	268	365 (365)	365 (365)	332	336	297	259
2015	199	53	92	117	45	46	57	76
2016	85	79	24	51	69	56	59	14
2017	0	10	38	11	0	0	0	5
2018	185	158	162	193	105	117	126	116

* Quotient p₀ = (Anzahl Wasserhaushaltsjahre mit SumD(<MNQ) = 0) / (Anz. Wasserhaushaltsjahre insgesamt)

Tabelle A2.3: Zusammenstellung der für die analysierten Pegel und Niedrigwasserkenngrößen SumV(<MNQ) angepassten Verteilungsfunktionen sowie der damit ermittelten Quantile (mit Wiederkehrintervall von T Jahren) und Grenzen ihrer Konfidenzintervalle KI mit Vertrauenswahrscheinlichkeit von 0,9. Zum Vergleich werden die in den Wasserhaushaltsjahren 2015/2018 aufgetretenen Kenngrößen aufgelistet. Die Angaben für Dresden und Neu Darchau beziehen sich auf Varianten mit (ohne) Homogenisierung für die Jahre 1961/1964.

Kenngröße	Hohensaaten- Finow (Oder)	Intschede (Weser)	Dresden (Elbe)	Neu Dar- chau (Elbe)	Maxau (Rhein)	Kaub (Rhein)	Köln (Rhein)	Hofkirchen (Donau)
	LN3 ML	LAEV LM	LN2 LM (LWEI ML)	LP3 MM (LP3 MM)	LN3 LM	LN2 LM	LN3 ML	LWEI MM
SumV (<MNQ) [Mio. m³]	tVF							
	p ₀	0,55	0,57 (0,57)	0,55 (0,55)	0,55	0,55	0,53	0,55
	KI 0,05	0	0 (0)	0 (0)	0	0	0	0
	T=2 J.	0	0 (0)	0 (0)	0	0	0	0
	KI 0,95	38	8	3 (3)	0	47	68	6
	T=5 J.	104	18	9 (5)	86 (88)	126	163	17
	tVF	191	43	20 (22)	180 (180)	246	296	43
	KI 0,95	300	88	33 (41)	366	394	510	82
	T=10 J.	245	53	25 (25)	223	303	410	53
	tVF	398	111	51 (56)	380 (389)	566	665	121
	KI 0,95	592	192	82 (94)	691	857	1065	212
	T=20 J.	402	113	49 (58)	392	529	690	115
	tVF	675	219	98 (110)	605 (635)	1037	1204	258
	KI 0,95	1065	349	164 (197)	1101	1576	2082	429
	T=25 J.	454	134	58 (71)	445 (471)	612	777	145
	tVF	782	262	118 (133)	705 (735)	1228	1421	318
	KI 0,95	1263	418	201 (246)	1252	1894	2512	533
	T=50 J.	615	192	94 (115)	649 (667)	915	1083	259
	tVF	1175	424	196 (222)	1030 (1038)	1964	2255	568
	KI 0,95	2107	775	357 (438)	1572 (1572)	3255	4541	978
	T=100 J.	782	247	141 (165)	838 (848)	1291	1399	419
	tVF	1675	620	306 (344)	1385 (1387)	2959	3376	938
	KI 0,95	3497	1572	577 (673)	2266 (2366)	5208	7982	1757
	T=200 J.	981	279	204 (218)	986 (995)	1719	1759	649
	tVF	2301	841	456 (508)	1780 (1760)	4273	4849	1466
	KI 0,95	5534	3564	906 (967)	3218 (3301)	7816	13261	3033
	2015	1241	45	92	429	267	423	178
	2016	280	91	15	173	406	483	16
	2017	0	5	22	15	0	0	8
	2018	942	405	271	1350	1404	2077	434

**Quotient p0 = (Anzahl Wasserhaushaltsjahre mit SumV(<MNQ) < 0,5% SumV(<MNQ)_{max}) / (Anzahl Wasserhaushaltsjahre insgesamt).

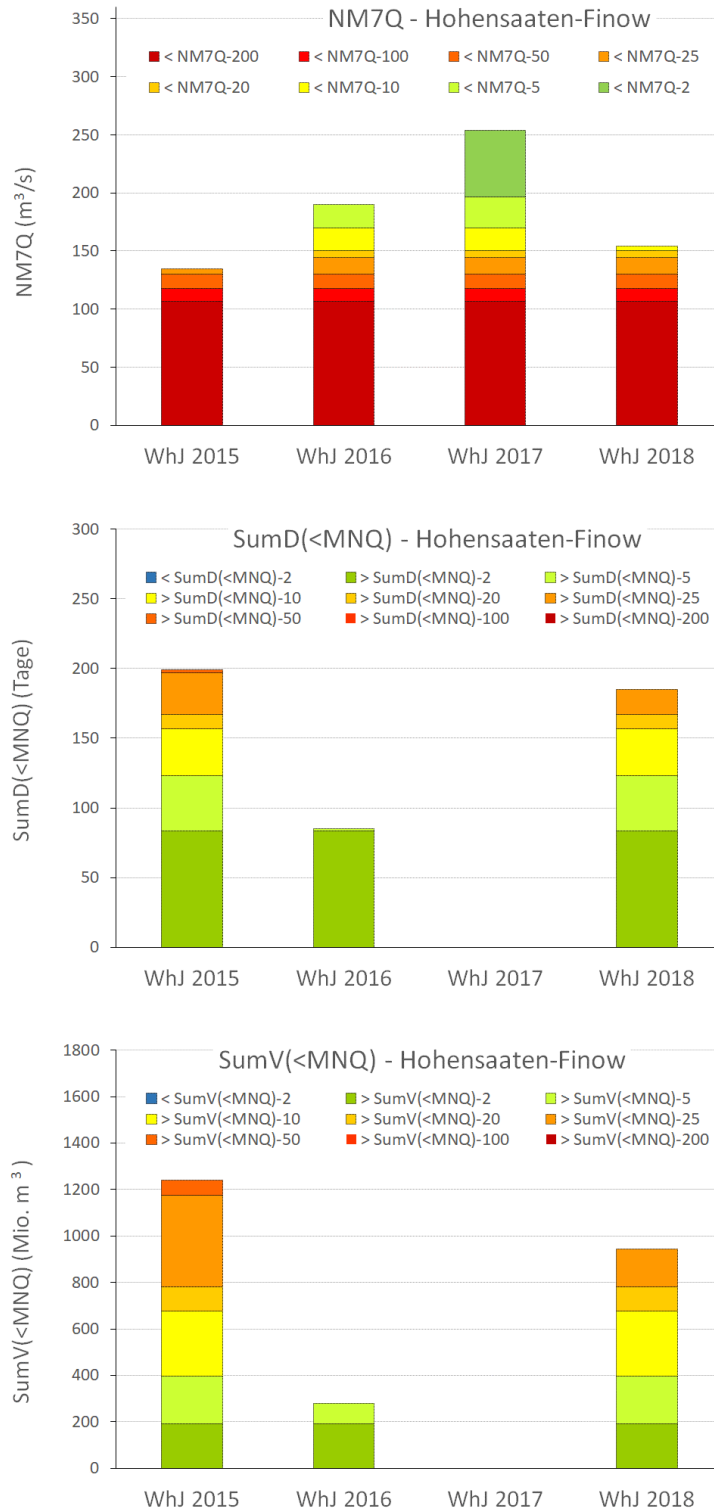


Abbildung A2-29: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Oderpegel Hohensaaten-Finow im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018. Die Quantilsklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

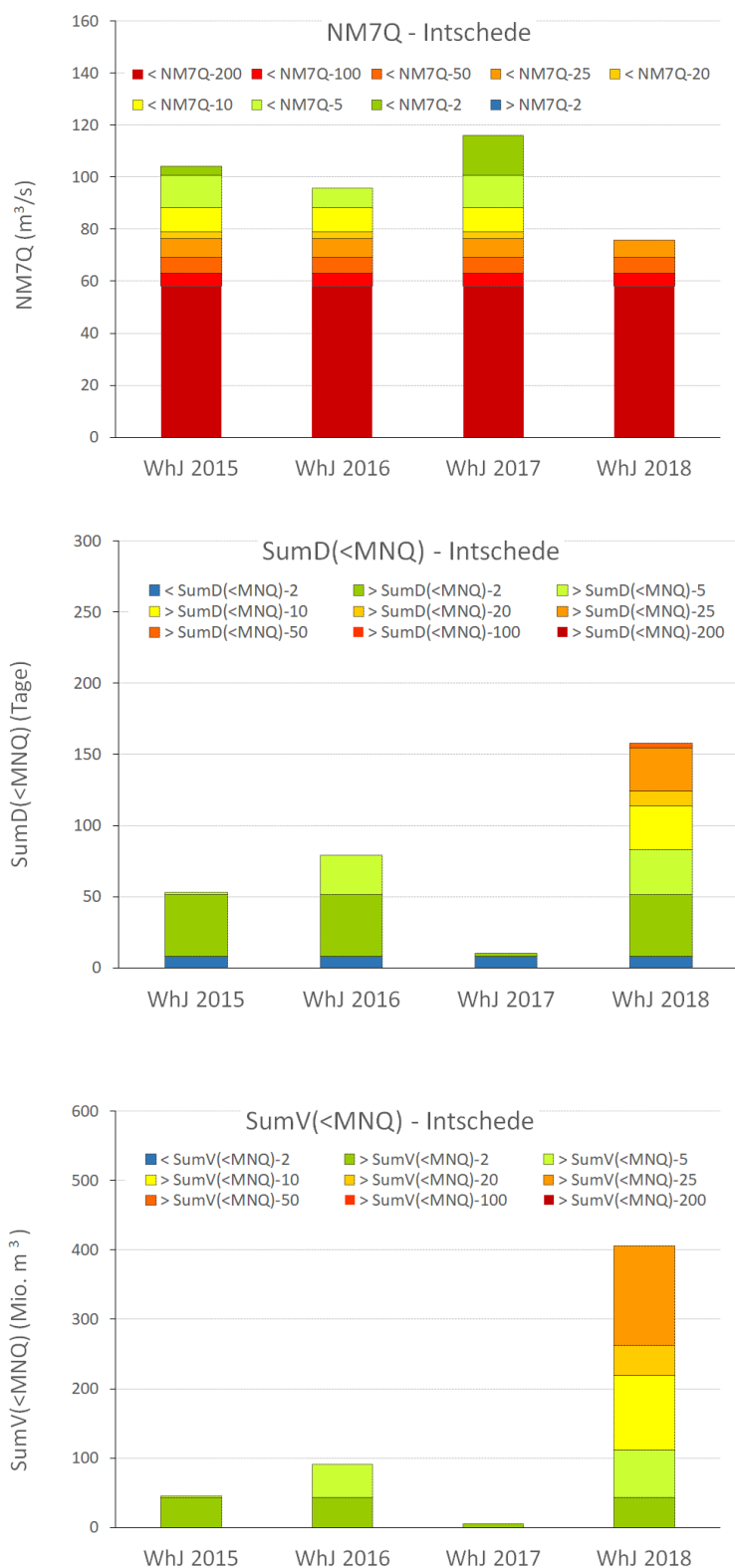


Abbildung A2-30: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Weserpegel Intschede im Vergleich mit Quantilklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018. Die Quantilklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

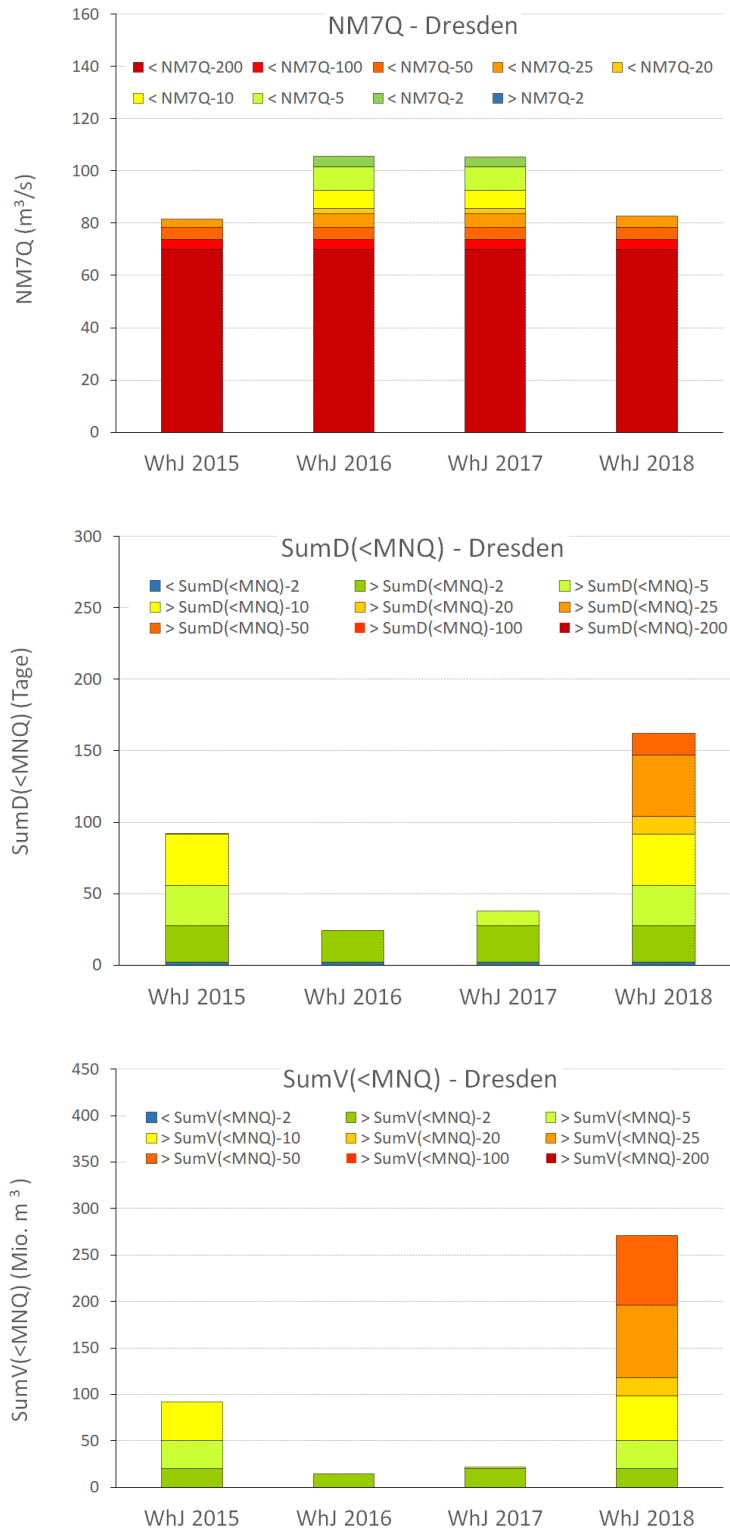


Abbildung A2-31: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Elbepegel Dresden im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018 (bei vorgenommener Homogenisierung in den Jahren 1961/1964). Die Quantilsklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

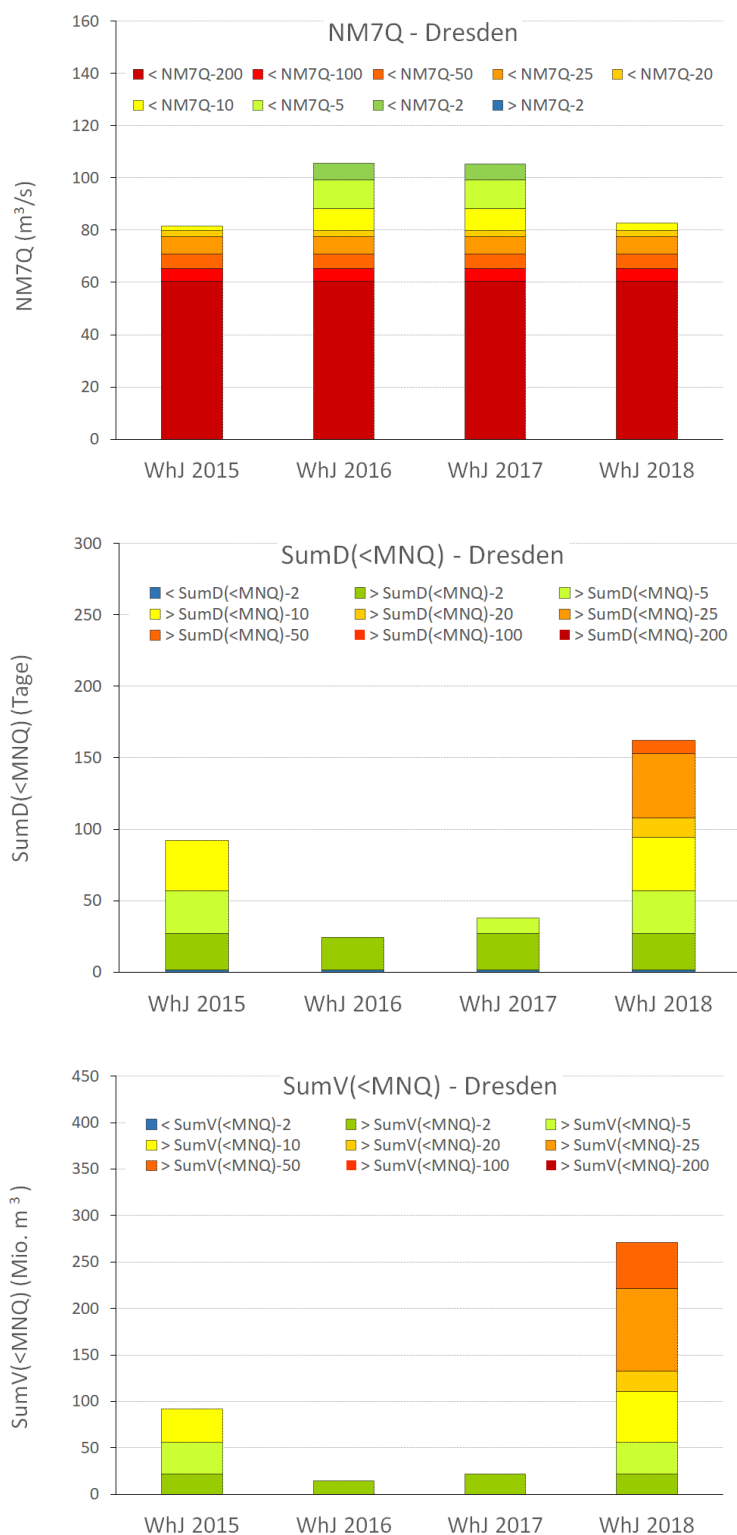


Abbildung A2-32: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Elbepegel Dresden im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018 (ohne Homogenisierung in den Jahren 1961/1964). Die Quantilsklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

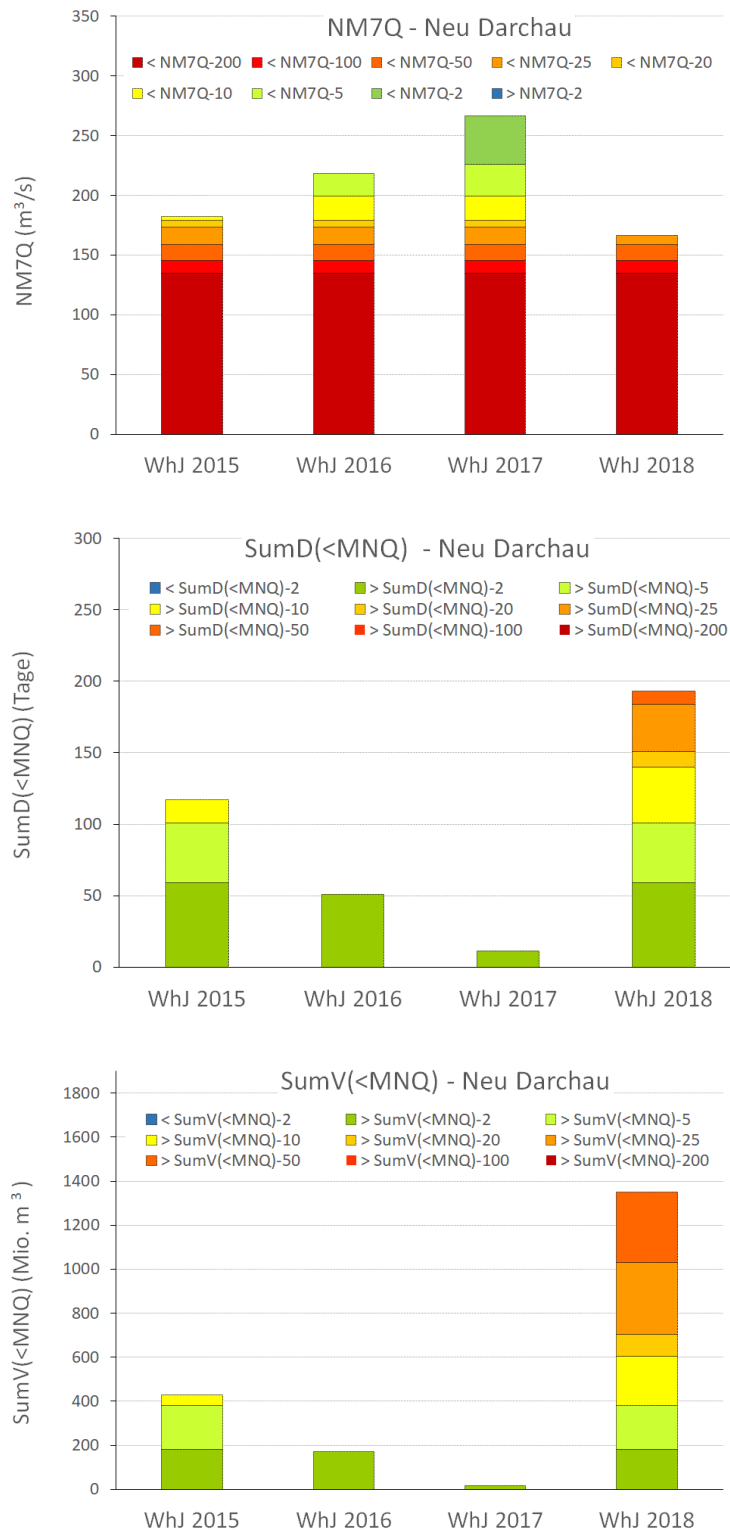


Abbildung A2-33: Niedrigwasserkenngößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Elbepegel Neu Darchau im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018 (bei vorgenommener Homogenisierung in den Jahren 1961/1964). Die Quantilsklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

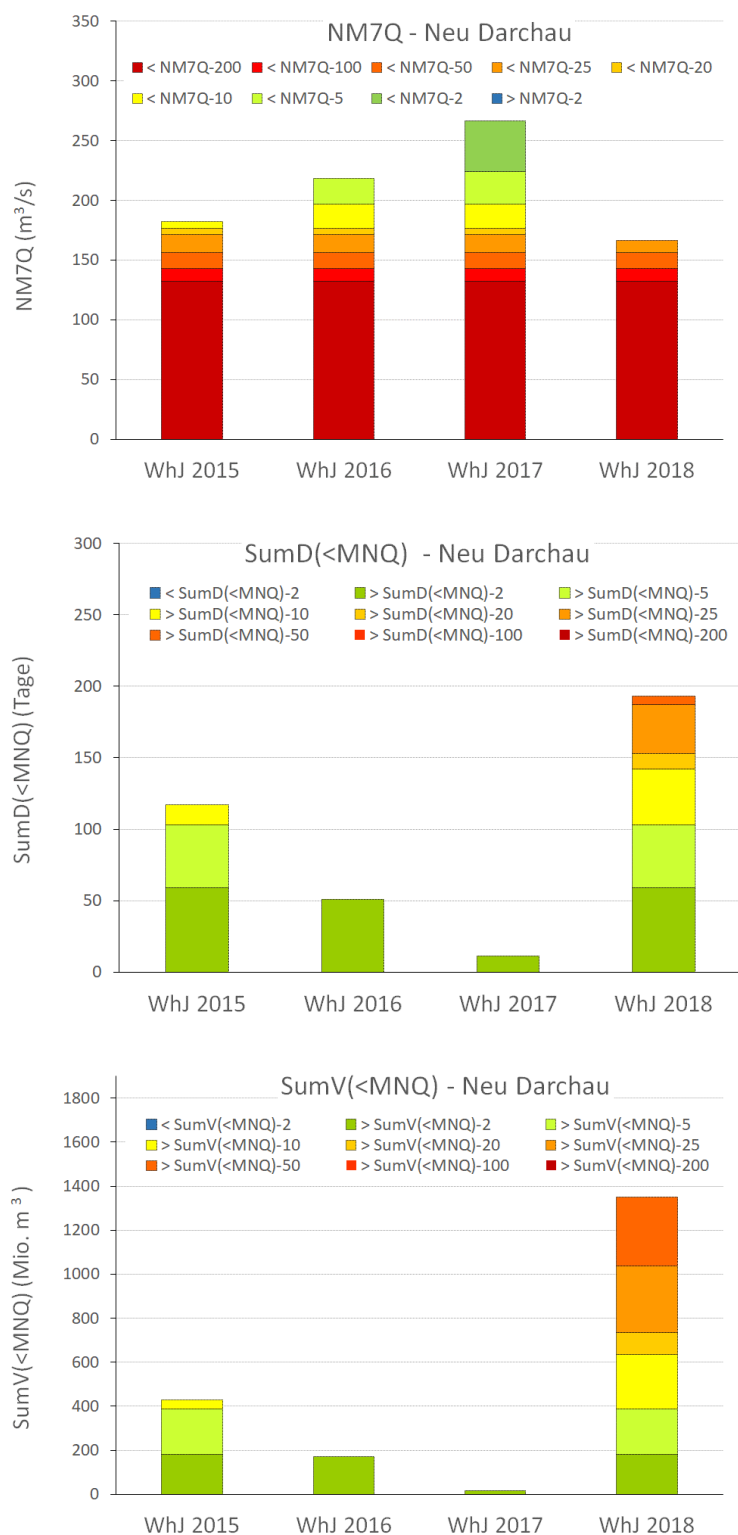


Abbildung A2-34: Niedrigwasserkenngrößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Elbepegel Neu Darchau im Vergleich mit Quantilklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018 (ohne Homogenisierung in den Jahren 1961/1964). Die Quantilklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

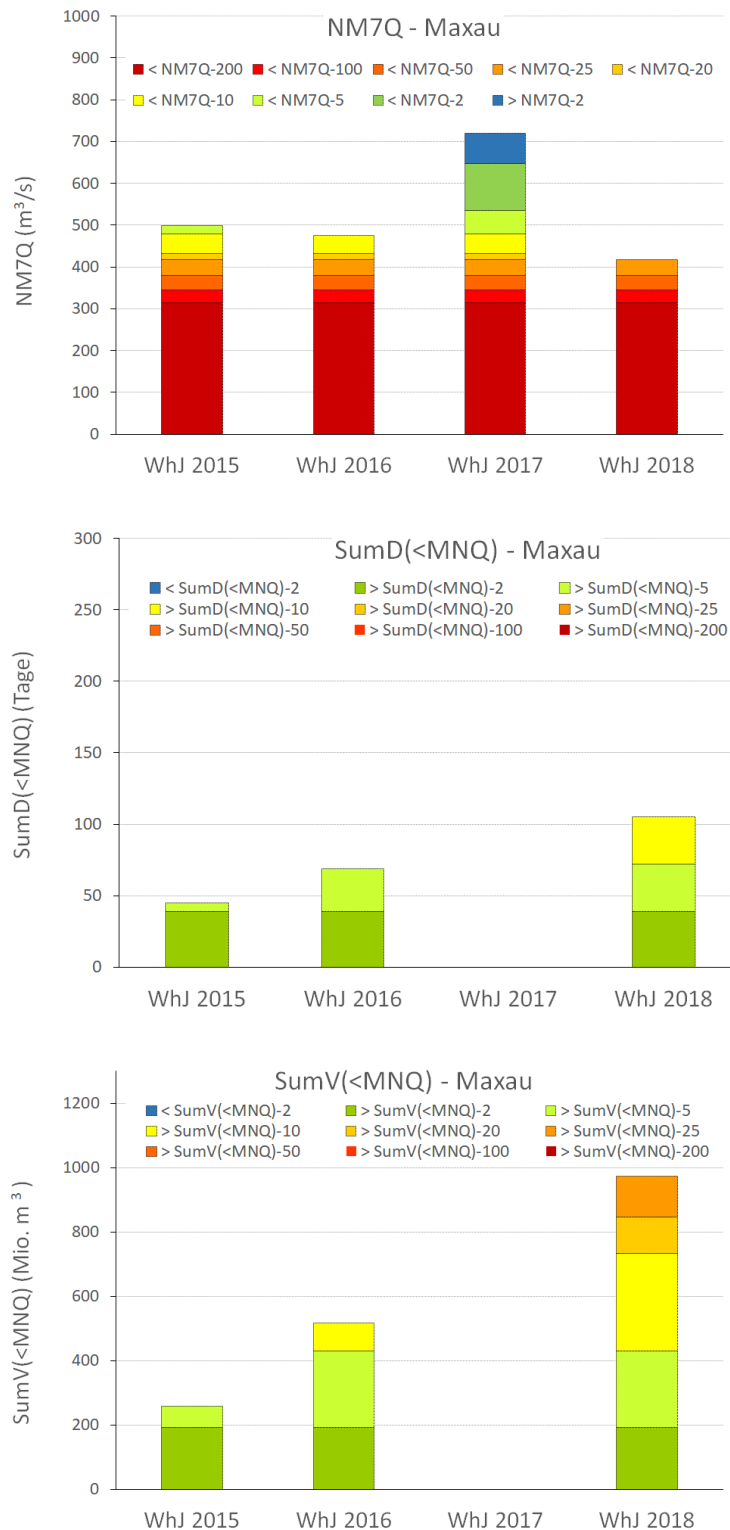


Abbildung A2-35: Niedrigwasserkenngößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Rheinpegel Maxau im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018. Die Quantilsklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

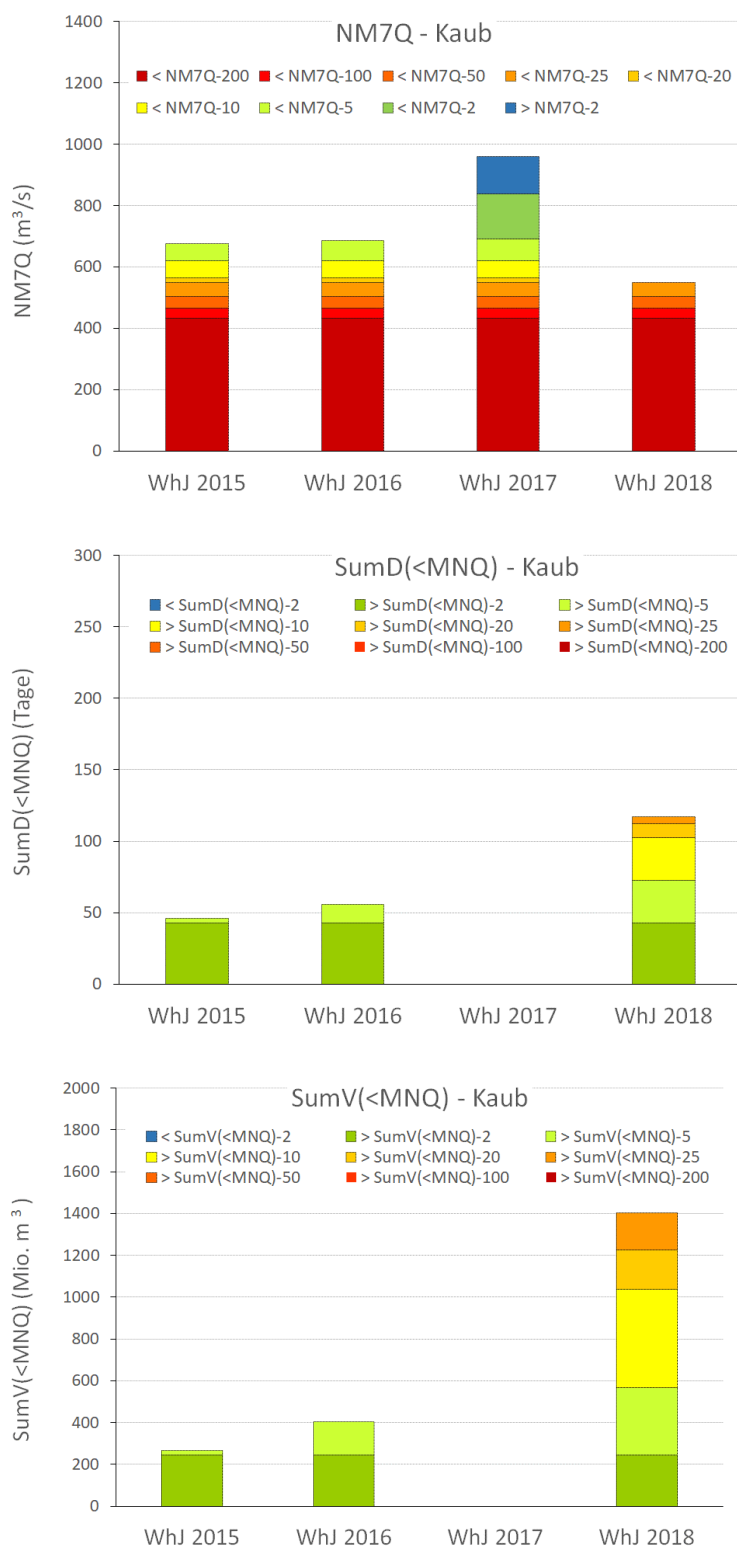


Abbildung A2-36: Niedrigwasserkenngößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Rheinpegel Maxau im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018. Die Quantilsklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

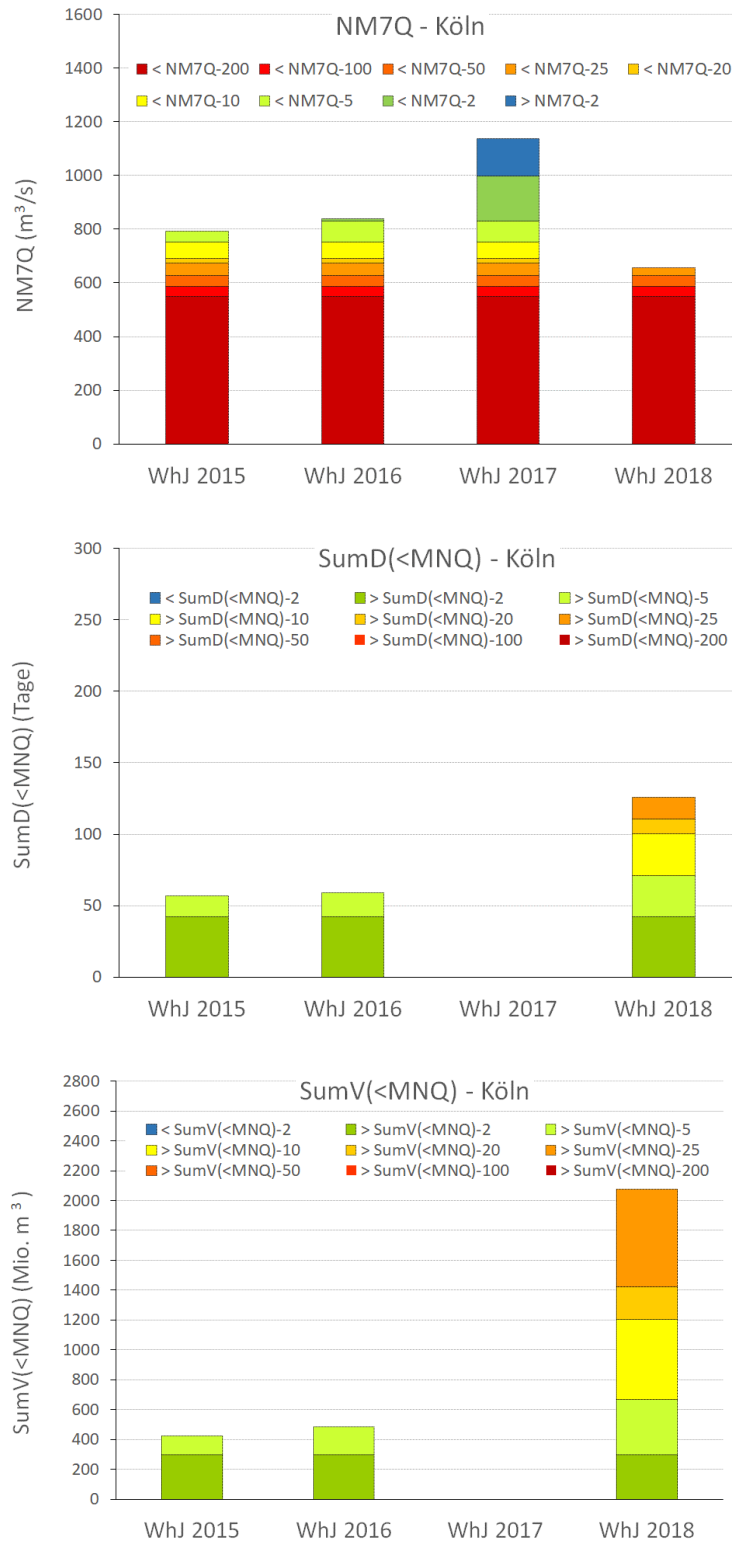


Abbildung A2-37: Niedrigwasserkenngößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Rheinpegel Köln im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018. Die Quantilsklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

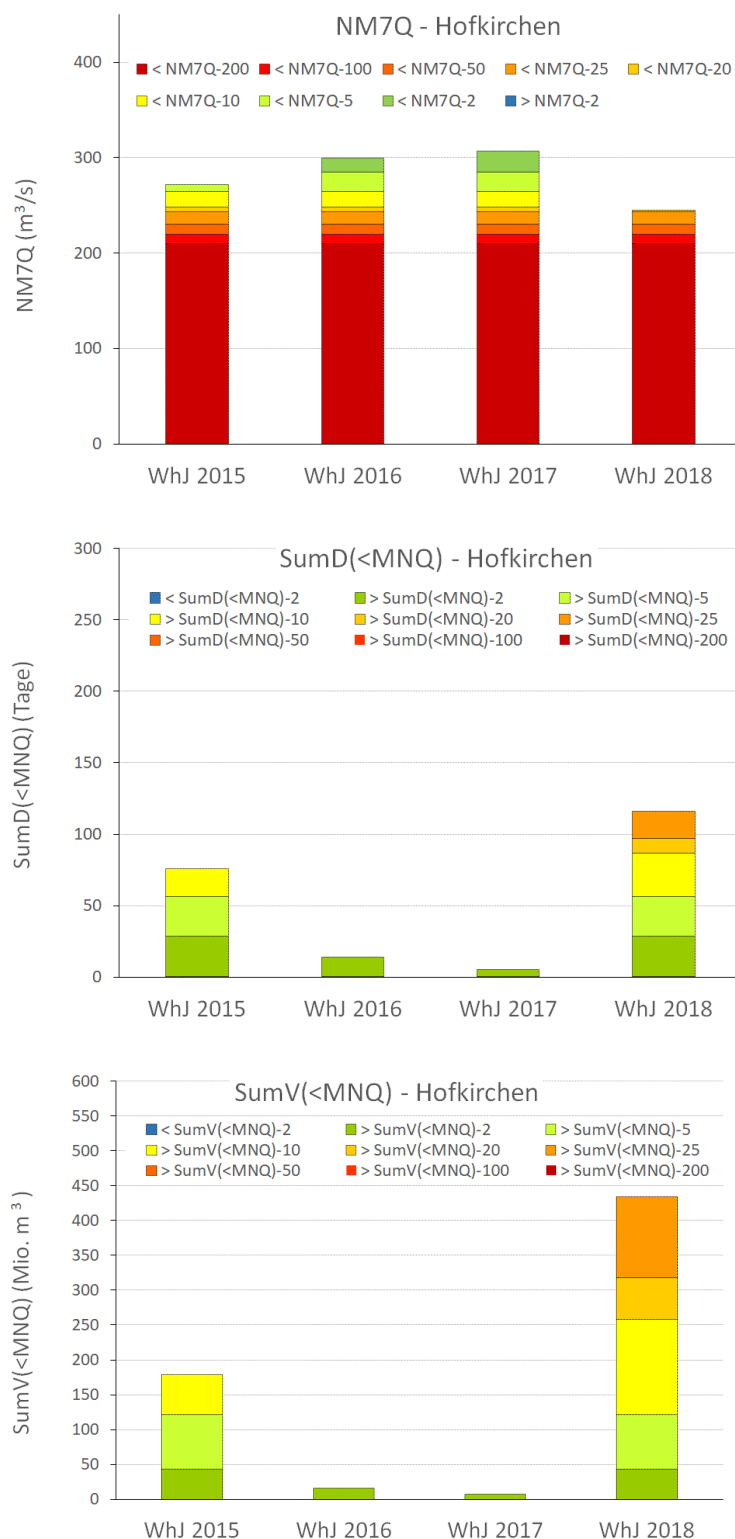


Abbildung A2-38: Niedrigwasserkenngößen NM7Q, SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) der Wasserhaushaltsjahre (WhJ) 2015/2018 am Donauegel Hofkirchen im Vergleich mit Quantilsklassen ihrer langfristigen Verteilung in den Serien 1961/2018. Die Quantilsklassen werden über Quantile mit ausgewählten Wiederkehrintervallen T (in Jahren) abgegrenzt, z. B. über NM7Q-T.

Pegelbezogene Ansprache der Zuordnungen der Niedrigwasserkenngrößen 2015/2018 zu den Quantilsklassen bzw. zu entsprechenden Wiederkehrintervallen

Am **Oderpegel Hohensaaten-Finow** hatte, anders als an allen anderen hier untersuchten Pegeln, das Niedrigwasser 2015 über alle Kenngrößen hinweg den extremsten Charakter (auch im Vergleich zum Niedrigwasser 2018, s. Abbildung A2-29). Die Wiederkehrintervalle für NM7Q wurden dabei zu 20 bis 50 (ca. 40) Jahren (NM7Q) bzw. zu ca. 50 Jahren (SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ)) berechnet. Auch im Vergleich mit den anderen hier untersuchten Pegeln im Jahr 2015 sind dies jeweils die höchsten Wiederkehrintervalle.

Die für das Wasserhaushaltsjahr 2018 ermittelten Wiederkehrintervalle sind mit 10 bis (eher) 20 Jahren (NM7Q) und 20 bis 50 Jahren (SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ)) geringer, besonders bei den letztgenannten Kenngrößen aber vergleichbar mit denen am Rhein und an der Donau (s. u.).

Im Wasserhaushaltsjahr 2016 ergaben sich je nach Kenngröße Wiederkehrintervalle zwischen (eher) 5 und 10 Jahren, womit sich wie an der Elbe auch an der Oder eine Zwischenstellung zwischen Rhein und Donau ergibt (vgl. unten). Das Wasserhaushaltsjahr 2017 war schließlich, wie an den meisten anderen in dieser Studie analysierten Pegeln, weniger von Niedrigwasser betroffen (Wiederkehrintervalle <2 Jahre).

Am **Weserpegel Intschede** traten in den Wasserhaushaltsjahren 2015 und 2016 Niedrigwasserereignisse auf, für die je nach Kenngröße Wiederkehrintervalle zwischen knapp 5 und 10 Jahren ermittelt wurden (Abbildung A2-30). Damit ähneln sie in ihrer relativen Größenordnung etwa den Niedrigwasserereignissen am Rhein (s. u.) in diesen Jahren. Im Wasserhaushaltsjahr 2017 folgte ein schwächer ausgeprägtes Niedrigwasser (Wiederkehrintervalle zwischen (eher) 2 und 5 Jahren), bevor es im Wasserhaushaltsjahr 2018 zu dem an der Weser bei Weitem stärksten Ereignis der hier betrachteten Niedrigwassersequenz (2015/2018) kam. Dieses hatte einen NM7Q mit einer Jährlichkeit von (eher) 20 bis 50 Jahren, was in diesem Jahr den Wiederkehrintervallen an den anderen Pegeln dieser Studie mehr oder weniger entspricht. Die Kenngrößen SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) haben noch höhere Wiederkehrintervalle von ca. 50 Jahren, die im Jahr 2018 nur an den Elbepegeln (s. u.) übertroffen und in der gesamten hier analysierten Niedrigwassersequenz nur an der Oder im Jahr 2015 (s. o.) auch noch erreicht wurden.

An den **Elbepegeln Dresden und Neu Darchau** sind ebenfalls die Niedrigwasserereignisse der Wasserhaushaltsjahre 2015 und 2018 hervorzuheben (Abbildungen A2-31 bis A2-34), wobei das Jahr 2015 hier unter einigen Aspekten ähnlich extrem war wie das Jahr 2018.

Dabei war im Jahr 2015 besonders der Pegel Dresden betroffen, wo dem NM7Q ein Wiederkehrintervall von ca. 20 bis 50 Jahren zuordenbar ist (gegenüber der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Serie 1961/2018 mit Homogenisierung 1961/1964). Für SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) sind die entsprechend ermittelten Wiederkehrintervalle hingegen mit ca. 20 Jahren im Gegensatz zur Donau (s. u.) etwas geringer. Dennoch übertreffen die dem Jahr 2015 am Pegel Dresden zuzuordnenden Wiederkehrintervalle für alle Kenngrößen diejenigen der Rhein- und Donaupegel (s. u.). Am Pegel Neu Darchau war der Charakter des Jahres 2015 weniger extrem. So wurden für NM7Q nur noch Wiederkehrintervalle von knapp

20 Jahren ermittelt und für SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) von jeweils etwas mehr als 10 Jahren. Bzgl. NM7Q war 2015 auch in Neu Darchau als extremer einzustufen als die Rhein- und Donaupegel, für SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 2015 waren die Pegel Neu Darchau und Hofkirchen jedoch relativ vergleichbar (vgl. unten). Die bis jetzt getroffenen Aussagen zum Niedrigwasser 2015 beziehen sich auf die Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit einer Homogenisierung der Abflussreihen in den Jahren 1961/1964 (vgl. Kapitel 3.2 und Anlage A2-1). Bei Bezug auf die Wahrscheinlichkeitsverteilung ohne diese Homogenisierung ergibt sich v. a. für den NM7Q am Pegel Dresden ein verändertes Wiederkehrintervall von nur noch 10 bis 20 Jahren, auf alle anderen Kenngrößen 2015 für Dresden und Neu Darchau ergeben sich jedoch keine wesentlichen Auswirkungen. Auch die weiteren, oben getroffenen Aussagen bleiben gültig.

Im Jahr 2018 erreichte der NM7Q am Pegel Dresden einen ähnlichen Wert wie im Jahr 2015 (Wiederkehrintervall 20 bis 50 Jahre bei Annahme der homogenisierten Variante der langfristigen Niedrigwasserstatistik). Hier kam es stromabwärts jedoch nicht wie 2015 zu einer Abschwächung des extremen Charakters, sondern NM7Q-bezogen noch zu einer leichten relativen Verschärfung (Wiederkehrintervall am Pegel Neu Darchau etwa 35 Jahre). Insbesondere sind jedoch für das Jahr 2018 die hohen Wiederkehrintervalle in Bezug auf SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) hervorzuheben, die an beiden Pegeln zwischen 50 und 100 Jahren liegen und bei SumV(<MNQ) am Pegel Neu Darchau knapp 100 Jahre erreichen, wobei diese Zuordnung jedoch eine relativ hohe Unsicherheit beinhaltet (vgl. Anlage A2-3). Während NM7Q 2018 an der Elbe vergleichbar mit den NM7Q 2018 an der Donau und am Mittel- und Niederrhein einzuordnen ist, übersteigen die Wiederkehrintervalle für SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) 2018 die entsprechenden Wiederkehrintervalle an Rhein und Donau deutlich (vgl. unten).

Wird bei der langfristigen Niedrigwasserstatistik keine Homogenisierung für 1961/1964 vorgenommen, ändert sich – wie im Jahr 2015 – v. a. das zugeordnete Wiederkehrintervall für NM7Q Dresden (in diesem Fall 10 bis 20 Jahre), während die Wiederkehrintervalle für alle anderen Kenngrößen an den Pegeln Dresden und Neu Darchau in ihrer Größenordnung erhalten bleiben. Damit erhielt NM7Q Dresden ein kleineres Wiederkehrintervall als die NM7Q an den Rhein- und Donaupegeln, während SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) in diesem Vergleich größere Wiederkehrintervalle behalten.

In den Wasserhaushaltsjahren 2016 und 2017 war die Elbe auch von Niedrigwasser betroffen, jedoch wie die meisten anderen hier betrachteten Pegel weniger stark als 2015 und 2018. Für das Jahr 2016 wurden pegel- und kenngrößenübergreifend Wiederkehrintervalle in der Größenordnung von 5 Jahren berechnet, womit die Elbe eine Zwischenstellung zwischen Donau und Rhein einnimmt bzw. diesen teilweise entspricht (vgl. unten). Im Jahr 2017 wurden am Pegel Dresden ebenfalls Wiederkehrintervalle um etwa 5 Jahre ermittelt, womit das Niedrigwasser hier in diesem Jahr relativ stärker ausgeprägt war als an allen anderen, in dieser Studie untersuchten Pegeln. Zum Pegel Neu Darchau schwächte sich das Niedrigwasser 2017 jedoch auf Wiederkehrintervalle von nur noch knapp über 2 Jahre ab, was etwa dem relativen Niveau an den anderen hier untersuchten Pegeln entspricht. Diese Aussagen gelten sowohl in Bezug auf die homogenisierte als auch auf die nichthomogenisierte Variante der langfristigen Niedrigwasserstatistik.

Die vorangehenden Ausführungen zeigen, wie auch bereits die Erörterungen im Zusammenhang mit Abbildung A2-3 in der Anlage A2-2 und Abbildung A2-23 in der Anlage A2-3, dass sich die Wahl zwischen den Varianten der langfristigen Niedrigwasserstatistiken mit oder ohne die für die Jahre 1961/1964 bzgl. der Wirkung tschechischer Talsperren homogenisierten Abflussreihen insbesondere auf extreme Kenngröße NM7Q am Pegel Dresden auswirkt. Demgegenüber bleiben die Auswirkungen auf SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) am Pegel Dresden und auf alle Kenngrößen am Pegel Neu Darchau begrenzt. Hieraus resultieren die oben erörterten Unsicherheiten bei der statistischen Einordnung der NM7Q des Pegels Dresden aus den Jahren 2015 und 2018. Bei nicht durchgeführter Homogenisierung ergibt sich hier eine starke Diskrepanz in der statistischen Einordnung des Ereignisses bzw. Jahres 2018 bzgl. der Auftretenswahrscheinlichkeit des NM7Q einerseits (ca. 15 Jahre) und des SumD(<MNQ) bzw. SumV(<MNQ) andererseits (ca. 60 bis 70 Jahre). Diese Diskrepanz ist neben den oben erwähnten Erörterungen als weiteres Indiz dafür zu werten, dass die Homogenisierung der Abflussreihen in den Jahren 1961/1964 für zuverlässige Niedrigwasserstatistiken erforderlich ist.

An den **Rheinpegeln Maxau, Kaub und Köln** (Abbildungen A2-35-37) traten zunächst die Niedrigwasserereignisse der Wasserhaushaltsjahre 2015 und 2016 auf, denen je nach Pegel und Kenngröße ein Wiederkehrintervall etwa zwischen 5 und 10 Jahren zugeordnet werden kann. Zwischen den beiden Jahren sind gewisse Unterschiede ihrer Charakteristik festzustellen. Für das Jahr 2015 ergaben sich kenngrößenübergreifend ähnliche Wiederkehrintervalle von bis zu ca. 8 Jahren, wobei diese an Ober- und Niederrhein (Maxau bzw. Köln) etwas höher liegen als am Mittellrhein (Kaub). Im Jahr 2016 war hingegen der Oberrhein mit Wiederkehrintervallen von ca. 10 Jahren (bei SumV(<MNQ) auch etwas darüber) relativ stärker betroffen als der Mittel- und der Niederrhein, wo sich nur Wiederkehrintervalle von bis zu ca. 8 Jahren ergaben.

Im Wasserhaushaltsjahr 2017 war Niedrigwasser am Rhein pegel- und kenngrößenübergreifend nur schwach ausgeprägt (Wiederkehrintervalle <2 Jahre).

Die deutlich stärkste Ausprägung hatte hingegen das Niedrigwasserereignis des Wasserhaushaltsjahres 2018, für das je nach Pegel und Kenngröße Wiederkehrintervalle etwa zwischen 20 und 50 Jahren berechnet wurden. Dabei ergaben sich an allen drei Pegeln die höchsten Wiederkehrintervalle (≥ 30 Jahre) für SumV(<MNQ), so dass das Ereignis besonders hinsichtlich der erreichten Abflussdefizite als extrem einzustufen ist. Zudem war besonders der Niederrhein betroffen, wo Wiederkehrintervalle ≥ 30 Jahre für alle drei analysierten Kenngrößen ermittelt wurden.

Am **Donaupegel Hofkirchen** (Abbildung A2-38), dessen Einzugsgebiet wie am Rhein alpin und mittelgebirgsgeprägt ist, sind die Niedrigwasserereignisse der Wasserhaushaltsjahre 2015 (stärker als am Rhein) und v. a. 2018 hervorzuheben. Für das Jahr 2015 ergab sich bezogen auf NM7Q ein Wiederkehrintervall zwischen 5 und 10 Jahren, das den Wiederkehrintervallen an den Rheinpegeln ähnelt. Den Kenngrößen SumD(<MNQ) und SumV(<MNQ) sind jedoch deutlich höhere Wiederkehrintervalle zwischen 10 und 20 Jahren zuzuordnen, die auch diejenigen am Rhein (s. o.) deutlich übertreffen. Das Niedrigwasser 2015 war an der Donau damit besonders durch seine Dauer und sein Abflussdefizit geprägt.

Dem Jahr 2018 lassen sich am Pegel Hofkirchen Wiederkehrintervalle von 20 bis 50 Jahren zuordnen. Wie im Jahr 2015 sind dabei Abflussdefizit und Dauer, hier mit Wiederkehrintervallen von mehr als 30 Jahren, als extremer einzustufen als der NM7Q dieses Jahres, für den ein Wiederkehrintervall von weniger als 30 Jahren berechnet wurde. Damit hatte das Niedrigwasser 2018, wie am Rhein, die deutlich stärkste Ausprägung innerhalb der Niedrigwassersequenz 2015/2018. Zudem ist es anhand seiner Wiederkehrintervalle statistisch ähnlich einzuordnen wie an den Rheinpegeln.

Auch in den Wasserhaushaltsjahren 2016 und 2017 traten am Donaupegel Hofkirchen jeweils Niedrigwasserereignisse auf, die jedoch deutlich schwächer ausgeprägt waren (kenngrößenübergreifende Wiederkehrintervalle zwischen 2 und 5 bzw. um etwa 3 Jahre). Im Jahr 2016 war die Donau an diesem Pegel damit relativ schwächer als der Rhein betroffen, im Jahr 2017 stärker (jedoch schwächer als im Jahr 2016 an der Donau).